



Ricerca di Sistema elettrico

Risultati delle prove sul nuovo Standard per le *performance* degli apparecchi per la refrigerazione domestica

P. Zangheri, S. Fumagalli, G. Leonardi, V. Tarantini,
A. Antonelli, M. Forni

RISULTATI DELLE PROVE SUL NUOVO STANDARD PER LE *PERFORMANCE* DEGLI APPARECCHI PER LA REFRIGERAZIONE DOMESTICA

P. Zangheri, S. Fumagalli, G. Leonardi, V. Tarantini, A. Antonelli, M. Forni (Uninsubria)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Piano integrato per l'informazione e la diffusione delle tecnologie verso i cittadini, le aziende e le pubbliche amministrazioni

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE: INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
2 ANALISI DELLA PARTE 3 DEL NUOVO STANDARD IEC	8
2.1 TEMPERATURE TARGET	8
2.2 CALCOLO DELLE CONDIZIONI DI STATO STAZIONARIO	8
2.3 CALCOLO DELLE CONDIZIONI RELATIVE A UN CICLO DI SBRINAMENTO	10
2.4 INTERPOLAZIONE DEI RISULTATI	12
2.5 LOAD PROCESSING EFFICIENCY TEST	13
2.6 CALCOLO DEL CONSUMO ENERGETICO ANNUALE	14
3 APPLICAZIONE SPERIMENTALE DEL NUOVO STANDARD IEC	16
3.1 LABORATORIO ICELAB	16
3.2 CAMPIONE DI PROVA	19
3.3 METODOLOGIA DI PROVA.....	20
3.4 RISULTATI DELLE PROVE EFFETTUATE	23
3.4.1 Prove in Mod1 a 16°C.....	23
3.4.2 Prove in Mod1 a 32°C.....	26
3.4.3 Prove in Mod2 a 16°C.....	29
3.4.4 Prove in Mod2 a 32°C.....	33
3.5 DISCUSSIONE DEI RISULTATI	37
3.6 CALCOLO DEL CONSUMO ENERGETICO ANNUALE	40
3.7 CONFRONTO CON LO STANDARD EN 153.....	43
4 CONCLUSIONI.....	45
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	46

Sommario

Nel nostro contesto l'efficace *enforcement* delle politiche di efficienza energetica, etichettatura energetica e progettazione ecosostenibile si realizza su tre piani – nazionale, europeo ed internazionale – strettamente interdipendenti tra loro. Un ulteriore piano d'intervento, trasversale ai tre, riguarda l'assistenza nel continuo sviluppo della normativa tecnica (metodi di misura) che è propedeutica alla definizione e controllo di qualsiasi misura politica.

Per quanto concerne i prodotti per la refrigerazione domestica, nell'ultimo ventennio si è assistito a una vivace evoluzione normativa (catalizzata da quella tecnologica), culminata nel tentativo internazionale del *Technical Committee* 59 della IEC di sviluppare un metodo unico e condiviso per la valutazione delle loro prestazioni, energetiche e non. Passaggio chiave per permettere l'omogeneizzazione (tanto richiesta dai produttori) degli schemi di etichettatura energetica e di controllo dell'immissione sul mercato che nel tempo si sono sviluppati nelle diverse regioni mondiali. Tale sforzo prende il nome della seconda edizione dello standard IEC 62552 [1], che nel marzo del 2013 è stato rilasciato per l'*iter* di consultazione e approvazione.

Con il presente rapporto, sviluppato nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2013 dell'Accordo di programma MSE-ENEA, si intende: i) inquadrare, analizzare e discutere il metodo di misura proposto dal nuovo standard IEC, con particolare *focus* sugli aspetti energetici; ii) descrivere e discutere i risultati di un'applicazione sperimentale del metodo, condotta presso i laboratori ENEA di Ispra.

Le prove condotte rappresentano una delle prime applicazioni della nuova procedura IEC, al di fuori del TC59 della IEC. I risultati così ottenuti (da un ente terzo) pongono le basi per fornire, presso gli opportuni tavoli di dibattito, una prima valutazione del metodo, il riconoscimento delle principali criticità di applicazione e delle proposte di affinamento e completamento.

In particolare, lo studio propone un contributo originale, utile a completare il calcolo, delineato dalla nuova proposta di standard, del consumo energetico annuale di un apparecchio e a permettere un confronto quantitativo con la vigente normativa di riferimento.

1 Introduzione: inquadramento normativo

A partire dai primi anni '90, l'*International Organization for Standardization* (ISO), anche seguendo la concomitante evoluzione tecnologica dei prodotti, ha prodotto la prima generazione di normativa tecnica di riferimento per la valutazione delle prestazioni degli elettrodomestici del freddo. Tali standard sono stati adottati in Europa (come EN ISO e attraverso la EN 153 del 1996) e hanno posto le basi per la nascente etichettatura energetica dei prodotti e i successivi requisiti di *EcoDesign*.

Il pacchetto di norme ISO originario è stato armonizzato e revisionato con la ISO 15502 del 2005 [2], che in Europa è stata recepita con alcune modifiche¹ dallo standard EN 153:2006 [3], eletto a riferimento dei regolamenti europei negli anni della loro piena implementazione.

Con l'avvicendamento di responsabilità tra organi normatori (da ISO a IEC), tale norma ha generato, come sua fedele copia, la prima edizione della IEC 62552 del 2007 e con l'aggiunta delle cantinette per vino e limitate correzioni la EN 62552:2013 del CENELEC.

Poiché analoghi, ma indipendenti percorsi si sono sviluppati in altre regioni del mondo², dando vita a norme, regolamenti e schemi di certificazione anche molto differenti, in sede di *International Electrotechnical Commission* e sotto la spinta delle associazioni industriali, si è fatta sempre più largo la necessità di convergere su modalità uniche e condivise di prova e di etichettatura.

Con questo obiettivo all'interno del TC 59 (*Technical Committee 59 - Performance fo household and similar electrical appliances*) della IEC è stato istituito il sottocomitato SC59M³ (*Performance fo household and similar cooling and freezing appliances*), che, dopo aver analizzato e testato i prodotti in commercio e le procedure vigenti, nel maggio 2013 ha rilasciato a consultazione la prima bozza della edizione 2 della IEC 6255 [1], come possibile standard unico mondiale.

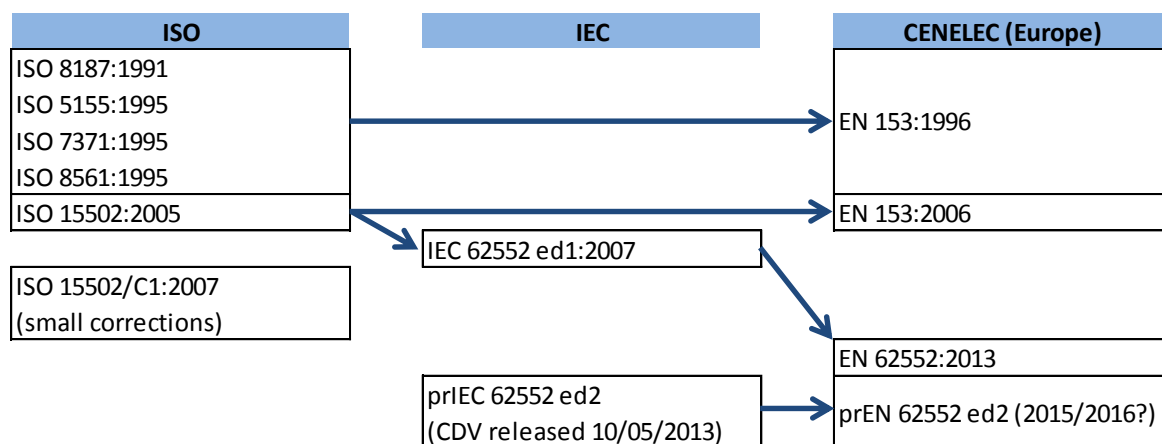


Figura 1. Evoluzione della normativa di riferimento per la valutazione delle performance delle apparecchiature per la refrigerazione domestica.

¹ Rispetto alla ISO 15502 [2], la EN 153 [3] ha fissato (indipendentemente dalla classe climatica dell'apparecchio) la temperatura ambiente a +25°C per le prova di consumo di energia, temperature rise time, *freezing capacity* e *ice-making capacity*, permettendo un confronto diretto tra apparecchi di classe climatica diversa. Inoltre ha introdotto un algoritmo di correzione del consumo di energia per tener conto dello scostamento della temperatura ambiente reale (in camera climatica) rispetto ai +25°C.

² In USA la norma di riferimento è la ANSI/AHAM HRF 1-2007, in Giappone la JIS C9801:2006 e in Oceania la AS/NZS 4474.

³ Composto da esperti delegati di Germania, Italia, UK, Olanda, USA, Giappone, Australia, Nuova Zelanda, Brasile e Cina.

Notevoli risultano le differenze metodologiche tra lo standard attualmente vigente in Europa (EN 153:2006 [3]) e la nuova proposta IEC, articolata in 3 parti (*Part 1: General requirements, Part 2: Performance requirements, Part 3: Energy consumption and Volume*). In generale:

- Alcune definizioni generali divergono, anche perché IEC introduce dispositivi, sistemi e tipi di apparecchi non ancora esistenti o diffusi quando è stata preparata la EN (in particolare le cantinette per vino).
- IEC descrive in modo molto più dettagliato la strumentazione, la camera di prova, le procedure generali di misura, la preparazione di un apparecchio per le misure e maggiormente restrittive risultano le incertezze/precisioni/tolleranze.
- Alcuni test sono presenti in EN e non in IEC (es. tenuta delle guarnizioni, resistenza meccanica alle aperture delle porte) o viceversa (es. *cooling capacity* e *pull down*).
- Differente è la temperatura target negli scomparti cibi-freschi: +5°C nella EN 153 [3] e +4°C nella proposta IEC.
- È diversa la disposizione e tipologia dei sensori per la misura della temperatura dell'aria nei vari scomparti. In particolare gli scomparti a bassa temperatura, che in EN sono valutati sempre con un carico, in IEC per alcune prove, tra cui quella di consumo energetico, sono valutati a vuoto (cioè anche per questi si propone di valutare la temperatura media dell'aria attraverso sensori in cilindri di rame).

Per quanto concerne le prove di performance, mentre lo Storage test risulta molto simile in EN e IEC (in entrambi gli standard sono previsti carichi negli scomparti a bassa temperatura), divergono le procedure di elaborazione del *Freezing capacity* test. la EN 153 [3] verifica la capacità di congelare in 24 ore il carico dichiarato, mantenendo le prescritte condizioni per i restanti vani dell'apparecchio: se la prova non viene superata, si procede con una riduzione del carico. La *freezing capacity* (cioè la quantità di carico che può essere congelata correttamente in 24 ore) viene quindi determinata secondo diversi criteri, compresa la proporzionalità, e tenendo conto del tempo di congelamento misurato. In IEC viene invece indicato il carico da congelare (*light load* pari a 3.5 kg per ogni 100 l scomparto) e se questo carico viene congelato in 24 ore, mantenendo le prescritte condizioni nel resto dell'apparecchio, allora è possibile dichiarare le "4 stelle". La *freezing capacity* viene calcolata con una formula che lega il *light load* al tempo di congelamento misurato.

Per quanto riguarda le prove di consumo energetico – di maggiore interesse anche in vista delle revisioni in corso dei regolamenti europei di *Energy Label* e *EcoDesign* – IEC dichiara che gli elettrodomestici del freddo sono prodotti termodinamici complessi, dove un gran numero di fattori influenza la misura del consumo di energia, e nella vita reale, i consumi durante i normali regimi di utilizzo. Come principali fattori vengono riconosciuti:

1. Le condizioni operative:
 - a. temperatura ambiente e umidità;
 - b. impostazioni dei termostati da parte dell'utente;
 - c. interazione dell'utente con l'apparecchio (scambio d'aria all'apertura delle porte, immissione di cibo o bevande calde, ingresso di umidità);
 - d. installazione (circolazione d'aria, clearance).
2. La progettazione del prodotto e le sue modalità di risposta alle condizioni operative:
 - a. caratteristiche di *defrost* e *recovery*;
 - b. intervallo di *defrost*;
 - c. efficienza di processo del sistema di refrigerazione, nel rimuovere il normale carico termico
 - d. qualità e livello di isolamento termico di porte, pareti, guarnizioni ecc.;
 - e. operazione di determinati ausiliari che possono a loro volta essere influenzati dalle condizioni ambiente e dall'utilizzo;
 - f. dimensioni, configurazione e proporzioni del prodotto.

Obiettivo centrale del metodo IEC è di quantificare quanti più possibile componenti costitutivi del consumo energetico reale, per poi aggregarli in modo da riflettere le condizioni operative e i pattern di utilizzo in zone climatiche differenti. Secondo tale impostazione i diversi Stati (o Regioni) possono scegliere gli elementi che sono per loro più importanti e combinarli nel modo per loro più rilevante. IEC non propone quindi un “unico” valore di consumo valido ovunque, ma il confronto a livello sovraregionale si può basare sui test dei singoli parametri.

In questo contesto, la proposta IEC introduce due rilevanti modifiche all’impostazione attualmente vigente in Europa:

- nei test di consumo energetico sono previste due prove a differenti temperature ambiente (16°C e 32°C), anziché a temperatura fissata di 25°C (come in EN 153 [3]);
- sono stati introdotti test aggiuntivi per permettere di stimare il consumo energetico associato a specifici sistemi ausiliari (come ad esempio gli *icemaker*) e il *Load processing efficiency* test per la quantificazione del consumo addizionale dovuto all’inserimento di un carico a temperatura ambiente (ovviamente con concomitante apertura degli sportelli).

Lo scostamento tra le due metodologie è tale da non permettere neanche un immediato confronto tra i risultati parziali e finali ottenuti implementando i due approcci: non risulta infatti possibile né confrontare direttamente i consumi giornalieri di base (in assenza di contributi addizionali), perché ottenuti per diverse temperature ambiente e diversi set-up degli apparecchi (regolazioni del termostato cibi-freschi e carico degli scomparti a bassa temperatura), né i consumi annuali, che in IEC dipendono da un’operazione di media pesata (peraltro non completamente definita) fra i risultati a 16 e 32°C e dai contributi addizionali non considerati da EN.

Tabella 1. Principali differenze tra gli approcci EN e IEC nella quantificazione dei consumi energetici di un apparecchio per la refrigerazione domestica.

Caratteristica di prova	EN 153	CDV IEC 62552 Ed.2 (2013)
Temperatura ambiente	+25°C	+16°C e +32°C
Temperature Target	Cibi-freschi: +5°C Congelatore: -18°C	Cibi-freschi: +4°C Congelatore: -18°C
Carico	Presente nel congelatore	Assente
Sonde di misura	Cibi freschi: sensore in cilindro di rame Congelatore: sensore in pacco M	Cibi freschi: sensore in cilindro di rame Congelatore: sensore in cilindro di rame
Apertura porte	Assente	Presente nella prova di <i>load processing</i> (apertura a 90° per 1 min)
Consumo giornaliero	Unico valore (a 25°C) ottenuto mediando le interpolazioni sulle temperature target dei diversi vani	Due valori (a 16 e 32°C) ottenuti per interpolazione sulla temperatura target di un vano con concomitante rispetto delle temperature massime negli altri
Consumo annuale	Pari a 365 volte il consumo giornaliero	Ottenuto come media pesata delle condizioni a 16 e 32°C e funzione di condizioni indoor e selezione dei contributi energetici da definire a livello regionale

Si rimanda al capitolo successivo per una descrizione dettagliata delle prove di consumo energetico disciplinate dal nuovo standard IEC (*Part 3: Energy consumption and Volume*).

2 Analisi della Parte 3 del nuovo Standard IEC

Nelle successive sezioni si riporta una sintesi dei capitoli chiave della Parte 3 (*Energy consumption and Volume*) della nuova proposta di standard IEC (prIEC 62552 ed2). Tale sintesi (ovviamente non esaustiva) si riferisce alle specifiche caratteristiche del frigorifero oggetto di test (Cap. 3.2) per il presente studio e permette di meglio comprendere e interpretare i risultati ottenuti nella fase sperimentale (Cap. 3.4).

2.1 Temperature target

Il valore del consumo energetico determinato secondo questo standard è strettamente legato al controllo della temperatura all'interno dell'apparecchio refrigerante: tutte le temperature medie dell'aria di ogni scomparto devono essere pari o inferiori alle temperature obiettivo specificate nella seguente tabella.

Tabella 2. Target di temperatura per ogni possibile comparto dell'apparecchio [1].

Compartment type	Target average air temperature °C
Pantry	17
Wine storage	12
Cellar	12
Fresh food	4
Chill	2
Zero star	0
1 star	-6
2 star	-12
3 star and 4 star	-18

Se uno scomparto è dotato di un controllo termostatico dedicato e può operare su un intervallo di temperatura variabile, questo dovrà essere classificato e gestito nelle condizioni che comportano il più elevato consumo energetico.

2.2 Calcolo delle condizioni di stato stazionario

La prova deve essere svolta alle temperature ambiente limite di 16°C e 32°C. Le temperature degli scomparti devono rispettare i valori della tabella 1. Per apparecchi con cicli di sbrinamento la normativa propone il "CASE SS2" (Fig.2) dove vengono presi in considerazione due periodi (X e Y) appena prima di due successivi picchi energetici di *defrost* (DF1 e DF2).

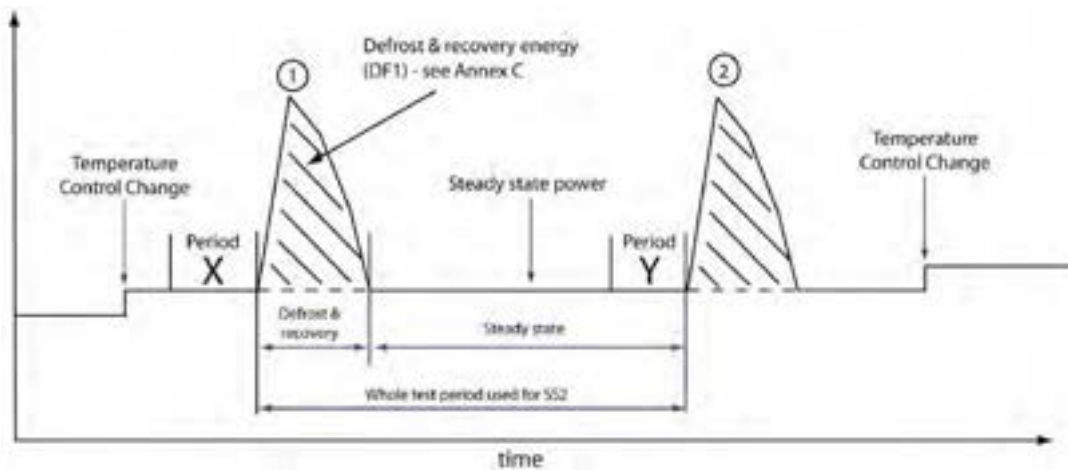


Figura 2. Caso SS2 - tipica operazione di un frigorifero con un ciclo di controllo di sbrinamento [1].

Tabella 3. Condizioni che i periodi X e Y devono rispettare per il calcolo delle condizioni di stato stazionario.

Parametro	Limite	Formula
Differenza di temperatura per ogni comparto tra periodo X e Y	$< 0.5 \text{ K}$	$T_{max}(X, Y) - T_{min}(X, Y)$
Differenza di potenza tra periodo X e Y	$< 1 \text{ W}$ $< 2\%$	$P_{max}(X, Y) - P_{min}(X, Y)$ $\frac{P_{max}(X, Y) - P_{min}(X, Y)}{P_{av}(X, Y)}$
Lunghezza dei periodi X e Y	$\geq 4 \text{ h}$	-
Indice di lunghezza dei periodi (llp) X e Y	$0.8 < llp < 1.25$	$\frac{T_{-X}}{T_{-Y}}$
Numero di cicli di controllo della temperatura (all'interno dei periodi X e Y)	≥ 4	-

Verificando che i periodi X e Y selezionati nel periodo di misura soddisfino le condizioni riportate in tabella 3, la P_{SS2} (W), ovvero la potenza in stato stazionario dell'apparecchio refrigerante senza nessuno carico all'interno e senza il supplemento energetico dato dal ciclo di *defrost*, è ricavabile come:

$$P_{SS2} = \frac{(E_{end-Y} - E_{end-X}) - \Delta E_{df}}{(t_{end-Y} - t_{end-X})}$$

Dove:

- E_{end-X} è l'energia accumulata al termine del Periodo X in Wh;
- E_{end-Y} è l'energia accumulata al termine del Periodo Y in Wh;
- t_{end-X} è il tempo di prova al termine del Periodo X in ore;
- t_{end-Y} è il tempo di prova al termine del Periodo Y in ore;
- ΔE_{df} è l'energia supplementare associata a un periodo di sbrinamento (per cui si rimanda al Cap. 2.3).

La potenza in stato stazionario deve essere corretta tenendo conto:

- della differenza tra la temperatura ambiente (T_{amb}) misurata durante la prova e la temperatura target ambientale (T_{at}) di 16°C o 32°C .
- delle differenze tra le temperature medie registrate in ogni scomparto (T_i) e i rispettivi target (T_{it}).

Nell'equazione proposta c_1 e c_2 sono delle costanti che valgono rispettivamente 0.011364 e 1.25, mentre ΔCOP (Tab. 4) varia per il tipo di prodotto e per le condizioni di test:

$$P_{ss} = P_{SSM} * \left(1 + [T_{at} - T_{amb}] * \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{c_1 * (18 + T_{it}) + c_2}}{\sum_{i=1}^n \frac{V_i * (T_{am} - T_{im})}{c_1 * (18 + T_{it}) + c_2}} \right) * \frac{1}{[1 + (T_{at} - T_{am}) * \Delta COP]}$$

Tabella 4. Valori di ΔCOP per tipologia di prodotto [1].

Product Type	ΔCOP adjustment at 16°C	ΔCOP adjustment at 32°C
Two or more compartments	0.0% per K increase	-1.4% per K increase
One compartment	-0.4% per K increase	-1.9% per K increase

La temperatura allo stato stazionario T_{ss2} (in °C) per ogni comparto i è invece calcolata come segue:

$$T_{SS2-i} = (T_{av-endX-endY-i}) - \frac{\Delta Th_{df-i}}{(t_{end-Y} - t_{end-X})}$$

Dove:

- $T_{av-endX-endY-i}$ è la temperatura media nel vano i nel periodo compreso tra la fine del periodo X e la fine del periodo Y, in °C;
- Th_{df-i} è la differenza di temperatura accumulata nel tempo in ogni compartimento i (in Kh) durante il periodo di sbrinamento che inizia alla fine del periodo X (per cui si rimanda al Cap. 2.3).

Il CRT_{SS2} indica la percentuale di tempo medio in cui il compressore dell'apparecchio è in funzione durante un periodo definito. Più questo valore è alto, più il frigorifero ha un consumo elevato; dipende fortemente dalla classe climatica dell'apparecchio e dalle condizioni ambientali esterne del locale in cui è posto. Esso è calcolabile come:

$$CRT_{SS2} = \frac{(RT_{end-Y} - RT_{end-X}) - \Delta t_{dr}}{(t_{end-Y} - t_{end-X})}$$

Dove:

- RT_{end-X} è il tempo totale accumulato di funzionamento del compressore al termine del periodo X, in h;
- RT_{end-Y} è il tempo totale accumulato di funzionamento del compressore alla fine del periodo Y, in h;
- Δt_{dr} è il tempo di funzionamento aggiuntivo del compressore associato ad un ciclo di sbrinamento, in h (per cui si rimanda al Cap. 2.3).

2.3 Calcolo delle condizioni relative a un ciclo di sbrinamento

Nell'approccio di elaborazione IEC per ottenere alcune condizioni dello stato stazionario risulta necessario pre-calcolare alcune condizioni relative al ciclo di *defrost* dell'apparecchio in esame: ΔE_{df} è necessaria per il calcolo di P_{SS2} e Δt_{dr} per quello di CRT_{SS2} .

In riferimento al caso denominato "CASE DF1", queste e le altre condizioni relative ai cicli di *defrost* sono ottenute a partire dall'identificazione del periodo stazionario D ed F, che rispettivamente precede e segue il ciclo di sbrinamento (Fig. 3), tale da rispettare le condizioni riportate in Tabella 5.

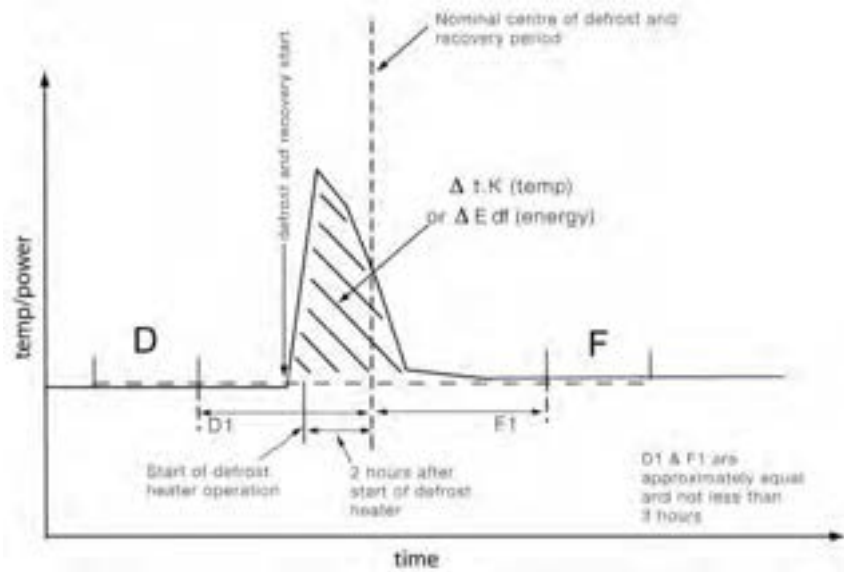


Figura 3. Illustrazione concettuale dell'energia supplementare associata a un periodo di sbrinamento ("CASE DF1") [1].

Tabella 5. Condizioni da rispettare per i periodi D ed F.

Parametro	Limite	Formula
Differenza di temperatura per ogni comparto tra periodo D ed F	$< 0.5K$	$T_{max}(D, F) - T_{min}(D, F)$
Differenza di potenza tra periodo D ed F	$< 1W$ $< 2\%$	$P_{max}(D, F) - P_{min}(D, F)$ $\frac{P_{max}(D, F) - P_{min}(D, F)}{P_{av}(D, F)}$
Lunghezza dei periodi D e F	$\geq 3h$	-
Indice lunghezza (Ilp) dei periodi D ed F	$0.8 < Ilp < 1.25$	$\frac{T_{-D}}{T_{-F}}$
Numero di cicli di controllo della temperatura dei periodi D ed F	≥ 3	-
Lunghezza periodi D e F	$\geq 3h$	-
Lunghezza periodo tra D e F	$\geq 5h$	-

Ciò verificato, il consumo energetico aggiuntivo associato a un ciclo di *defrost j* (in Wh) è calcolabile come:

$$\Delta E_{dfj} = (E_{end-F} - E_{start-D}) - \frac{(P_{SS-D} - P_{SS-F})}{2} * (t_{end-F} - t_{start-D})$$

Dove:

- $E_{start-D}$ è l'energia accumulata all'inizio del Periodo D, in Wh;
- E_{end-F} è la lettura del contatore di energia accumulata al termine del Periodo F, in Wh;
- P_{SS-D} è il consumo medio per il periodo D, in W;
- P_{SS-F} è il consumo medio di energia per il periodo F, in W;
- $T_{start-D}$ è il tempo di prova all'inizio del periodo D, in ore;
- T_{end-F} è il tempo di prova al termine del Periodo F, in ore.

Il tempo di funzionamento aggiuntivo del compressore associato ad un ciclo di *defrost j* come:

$$\Delta t_{drj} = (RT_{end-F} - RT_{start-D}) - \frac{[(RT_{end-F} - RT_{start-F}) + (RT_{end-D} - RT_{start-D})]}{(t_{end-F} - t_{start-F}) + (t_{end-D} - t_{start-D})} * (t_{end-F} - t_{start-D})$$

Dove:

- $RT_{start-D}$ e RT_{end-D} sono i tempi totali accumulati di funzionamento del compressore all'inizio e al termine del periodo D, in h;
- $RT_{start-F}$ e RT_{end-F} sono i tempi totali accumulati di funzionamento del compressore all'inizio e al termine del periodo F, in h;
- $t_{start-D}$ e t_{end-D} sono i tempi cumulati di test all'inizio e al termine del periodo F, in h;
- $t_{start-F}$ e t_{end-F} sono i tempi cumulati di test all'inizio e al termine del periodo F, in h.

La variazione di temperatura (Kh) in ogni vano i associata ad un ciclo di *defrost* j è calcolata come:

$$\Delta Th_{dfj-i} = (t_{end-F} - t_{start-D}) * \left[(T_{av-startD-endF-i}) - \frac{(T_{av-D-i} + T_{av-F-i})}{2} \right]$$

Con:

- $T_{av-startD-endF-i}$ è la temperatura media nel vano i nel periodo compreso tra l'inizio del periodo D e fine del periodo F, in °C.
- T_{av-D-i} e T_{av-F-i} sono le temperature medie nel vano i durante i periodo D ed F, in °C.

I valori rappresentativi di ΔE_{df} , Δt_{dr} e ΔTh_{df-i} per l'apparecchio oggetto di test si ricavano come media di tutti i valori validi registrati durante le prove; se si dispone di una grossa quantità di dati lo standard consiglia di mediane almeno 4.

2.4 Interpolazione dei risultati

Il valore più obiettivo immaginabile del consumo di energia per un apparecchio di refrigerazione secondo questo standard (ossia il limite teorico), è quello associato a temperature medie in ogni vano esattamente uguali alle relative temperatura target. Realmente, non tutti gli apparecchi sono in grado di funzionare a questa condizione, né risulta possibile continuare a condurre test nel tentativo di ottenere esattamente il massimo risultato. Per ovviare a ciò lo standard ribadisce la possibilità di effettuare l'interpolazione dei risultati di due prove relative a controlli termostatici che mantengono temperature più alte e più basse dei target, limitando la differenza tra le temperature delle due prove ai 4 K.

La norma (a differenza dello standard vigente⁴) prevede di interpolare i consumi energetici delle due prove sulle temperature target di tutti i compartimenti e di individuare come accettabile il valore di consumo a cui corrispondono, in tutti gli scomparti, temperature uguali o minori ai target. Nel caso in cui risultasse accettabile più di una l'interpolazione si indica di considerare il valore minore di consumo.

Per meglio spiegare l'approccio, in Figura 4 si riporta l'esempio proposto dalla norma, in cui le temperature dei vani (T_{i1} e T_{i2}) registrate nelle due prove vengono riportate in corrispondenza dei consumi E_1 ed E_2 e i consumi energetici (E_{i-tar}) d'interpolazione, sull'ascissa, nell'intervallo compreso tra i consumi registrati.

Nell'esempio il consumo interpolato sulla temperatura target del vano A (T_{A-Tar2}) è E_{A-Tar} , a cui corrispondono temperature accettabili (minori o uguali ai target) per i vani B e C, ma non per lo scomparto D. Diversamente al consumo interpolato sulla temperatura target del vano D (E_{D-Tar}) corrispondono temperature accettabili negli altri scomparti ed è quindi questo il valore di consumo energetico risultante per l'apparecchio in esame.

⁴ Gli standard ISO 15502 [2] e EN 153 [3] prevedono di ottenere il consumo risultante come media di quelli ottenuti dall'interpolazione sulle temperature target dei diversi vani.

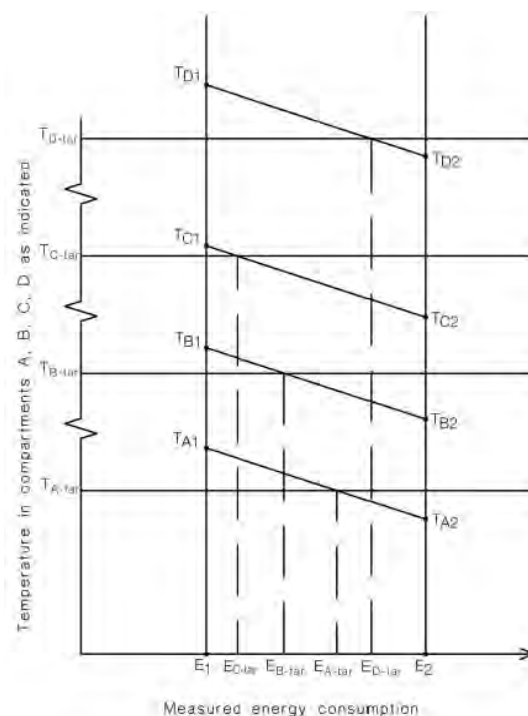


Figura 4. Interpolazione dei risultati dei test in presenza di più vani [1].

2.5 Load processing efficiency test

IEC riconosce che, in regime di normale utilizzo, una parte importante del carico termico trattato da un apparecchio refrigerante deriva da aspetti legati all'utilizzo, come l'apertura delle porte e l'inserimento o il prelievo di cibi/bevande, che implicano l'immissione di carico sia sensibile che latente. Poiché tali contributi dipendono anche dalla geometria dell'apparecchio e dalla tipologia di accessori interni (come cassetti, ripiani ecc.), la loro quantificazione non risulta semplice né immediata. Ciò considerato IEC ha introdotto una proposta di test di *load processing efficiency*, ritenendola di una accuratezza sufficiente per gli obiettivi della norma.

Una precisa massa di acqua (Tab. 6) a temperatura nota (T_{amb}) viene immessa nell'apparecchio, che è in funzione e in condizioni di stabilità, tramite una apertura delle porte di angolo e durata ben definiti (apertura di 90° per 1 minuto). L'apparecchio viene quindi lasciato in funzione e monitorato finché ritorna in condizioni di stabilità. L'energia aggiuntiva utilizzata per "processare" il carico è determinata tramite il test e la variazione di entalpia dell'acqua è utilizzata per determinare l'efficienza del processo di raffreddamento: essa è determinata come rapporto tra il carico termico in Wh dell'acqua rimosso ($E_{input-test}$) e il consumo di energia supplementare in Wh utilizzato dall'apparecchio di refrigerazione per raffreddarlo ($E_{additional-test}$):

$$Efficiency_{load,ambient} = \frac{E_{input-test}}{E_{additional-test}}$$

Tabella 6. Quantità d'acqua da inserire nel vano cibi-freschi e nello scomparto a bassa temperatura.

scomparto	g di acqua / l di scomparto
Cibi-freschi	12 g/l
Congelatore	4 g/l

L'energia totale inserita ($E_{input-test}$) è la somma dell'energia caricata nel comparto cibi freschi ($E_{unfrozen-test}$) e nel comparto freezer ($E_{frozen-test}$), calcolati con la seguente formula:

$$E_{unfrozen/frozen-test} = \frac{4.1868 * M_{tot unfrozen/frozen} * (T_{amb} - T_{av unfrozen/frozen})}{3.6}$$

Dove:

- $M_{tot unfrozen/frozen}$ è la massa totale d'acqua situata nel comparto cibi freschi/freezer, in kg;
- $T_{av unfrozen/frozen}$ è la temperatura media delle sonde nel comparto cibi freschi/freezer durante il periodo di validità della prova, in °C;
- T_{amb} è la temperatura ambiente media rilevata 6 ore prima del posizionamento del carico d'acqua all'interno del comparto cibi freschi/freezer, in °C;
- 4.1868 è il calore specifico dell'acqua in kJ/kgK;
- 3.6 è il fattore per convertire kJ in Wh.

Il consumo di energia supplementare (Fig. 5) dell'apparecchio dovuto al carico e all'apertura momentanea dello sportello è dato dalla seguente equazione:

$$E_{additional-test} = (E_{end} - E_{start}) - P_{after} * (t_{end} - t_{start}) - z * \Delta E_{df}$$

Dove:

- E_{end} è l'energia accumulata alla fine del periodo di *load processing*, in Wh;
- E_{start} è l'energia accumulata all'inizio del periodo di *load processing*, in Wh;
- P_{after} è il consumo di energia allo stato stazionario che si verifica dopo che il carico è stato completamente raffreddato durante il periodo di validità di prova di energia, in W;
- $T_{start/end}$ è il tempo di prova all'inizio/fine del test, in h;
- z pari al numero di periodi di *defrost* che si verificano durante e prima il completamento del test;
- ΔE_{df} è di nuovo l'energia incrementale dovuta un ciclo *defrost*, in Wh (Cap 2.2.3).

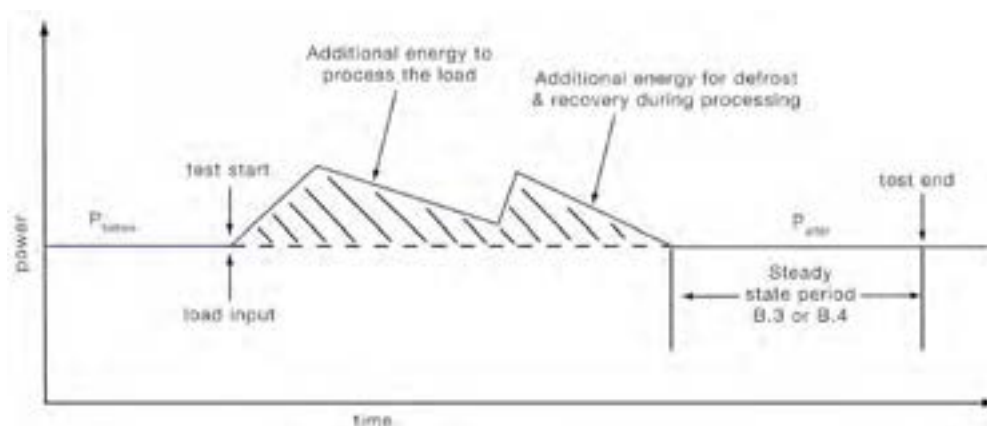


Figura 5. Illustrazione concettuale del *load processing* test [1].

2.6 Calcolo del consumo energetico annuale

Il nuovo approccio IEC propone di calcolare il consumo energetico annuale di un frigocongelatore a partire da prove (svolte alle T_{amb} di +16°C e +32°C) che misurano singoli componenti del consumo stesso.

Riassumendo dai singoli test (applicabili secondo il caso) si ottengono:

- potenza in stato stazionario P_{ss} (relativo a periodi senza cicli di *defrost*), con apparecchio senza carico;
- consumo dovuto ai periodi di *defrost* (ΔE_{df}) e intervallo di *defrost* (t_{df});
- consumo dovuto agli ausiliari (ΔE_{aux}): dispositivi ausiliari anti-condensa e *icemakers* automatici (non presenti nel modello oggetto di studio);
- consumo addizionale relativo al trattamento di un carico ($\Delta E_{additional}$), ricavato attraverso l'efficienza di processing, cioè la capacità di rimuovere quantità note di calore.

A partire dai primi contributi lo standard prevede il calcolo del consumo giornaliero di base (E_{daily}) in Wh, a 16 e 32°C, come:

$$E_{daily} = P_{SS} * 24 + \frac{\Delta E_{df} * 24}{t_{df}}$$

Da cui è ottenibile il consumo annuo totale (E_{tot}):

$$E_{tot} = (Day_{16} * E_{daily,16^{\circ}C}) + (Day_{32} * E_{daily,32^{\circ}C}) + (\Delta E_{aux}) + (\Delta E_{additional})$$

Dove Day_{16} e Day_{32} rappresentano il numero annuale di giorni equivalenti a 16°C e 32°C, che non essendo proposti nell'attuale versione della norma, dovrebbero essere individuati in base alle condizioni climatiche di riferimento dagli organismi normativi che recepiscono lo standard.

3 Applicazione sperimentale del nuovo Standard IEC

Le prove condotte presso i laboratori ENEA di Ispra rappresentano una delle prime applicazioni della nuova procedura IEC, al di fuori del TC59M della IEC. I risultati così ottenuti da un ente terzo pongono le basi per fornire, presso gli opportuni tavoli di dibattito, una prima valutazione del metodo, il riconoscimento delle principali criticità di applicazione e delle proposte di affinamento e completamento.

3.1 Laboratorio ICELAB

Nel laboratorio ICELAB di Enea Ispra, le prove sperimentali sui frigoriferi si traducono nella misura di grandezze fisiche (i.e. temperatura, potenza elettrica degli apparecchi) all'interno degli apparecchi stessi e all'interno della camera climatica 2. Per quest'ultima, le misure effettuate permettono di verificare che le prove condotte sugli apparecchi avvengano nelle condizioni ambientali previste dalla normativa.

La strumentazione utilizzata nel ICELAB è riportata nelle seguenti tabelle.

Tabella 7. Caratteristiche tecniche della Camera Climatica 2.

Caratteristiche tecniche della camera climatica	Camera climatica <i>walk-in</i> CC2
Dimensioni interne	2.40m x [W] 5.40m x [L] 3.55m [H] 13m ² - 46m ³
Superficie e volume utile	12m ² 36m ³
Temperatura di esercizio	+0°C a +75°C
Gradiente verticale	<1 °C/m
Umidità relativa	30% - 90%
Velocità aria	< 0.25m/s
Potenza elettrica massima assorbita	43kW
Potenza termica massima smaltibile	1000W

Tabella 8. Grandezze fisiche rilevate nella Camera Climatica *walk-in* 2 e relativi strumenti.

Grandezza fisica	Strumenti	NOTE
Umidità relativa	Igrometri capacitivi SIAP UM9730 Range dal 10% a 100% u/r Precisione: ±2% tra 10% e 80% u/r ±3% tra 80% e 100% u/r	Misura l'umidità relativa all'interno della camere climatiche.

Velocità e temperatura dell'aria	Anemometro Dantec ConfortSense range v da 0.05m/s fino a 5m/s range T da -20°C a 80°C	Lo strumento è utilizzato per misurare la velocità dell'aria all'interno delle camere climatiche. Le verifiche sulla velocità dell'aria sono fatte periodicamente.
Temperatura	termoresistenze Pt100 Tersid termocoppie di tipo K Tersid termocoppie di tipo T Tersid	Sensori di forma e dimensioni diverse a seconda dell'uso specifico: misure in aria, nei pacchi test, su superfici, etc.
Potenza elettrica	Convertitori di potenza elettrica Scientific Columbus DGLogic DL5CA2 Range di misura da 0 a 1000 W Precisione del $\pm(0.1\% \text{ d.l. } +0.05\% \text{ f.s.})$.	Tutti i convertitori di grandezze elettriche sono collegati con il sistema di acquisizione dati che converte il segnale nella grandezza fisica relativa e ne memorizza il valore nella memoria interna.
Tensione di rete	Convertitori di tensione, Range 0-250V ENERDIS TRIAD IEC688	
Corrente elettrica	Convertitori di corrente Range 0-5A ENERDIS TRIAD IEC688	
Frequenza di rete	Convertitori di frequenza Range: 45-55Hz ENERDIS TRIAD IEC688	

Tabella 9. Grandezze fisiche complementari e relativi strumenti.

Grandezza fisica	Strumenti	NOTE
Misure sulle prestazioni/tarature		
Grandezze elettriche: Tensione, Corrente, frequenza, ...	- Multimetro digitale <i>hp</i> 3458A - Calibratore multifunzione Fluke 5500A:	Il Multimetro digitale viene utilizzato anche nella taratura dei convertitori di grandezze elettriche. Il calibratore è utilizzato, come standard primario, per la calibrazione e la taratura della strumentazione di laboratorio, in particolare, per la verifica del sistema di acquisizione dati.
Dimensioni lineari e masse		
Dimensioni lineari e volumi	Calibri digitali Mauser	Sono utilizzate per misurare le grandezze dimensionali degli apparecchi in prova (lineari, per calcolare superfici e volumi), di simulatori di carico (mattoni e pacchi test), cilindretti di rame ecc.
	Laser scanner 3D	Utilizzato per misure di volume
Massa	Pesa ALSEP	E' utilizzata per determinare il peso dei mattoni (prove forni) e dei pacchi test (prove elettrodomestici freddo), cilindretti di rame ecc.
Tarature		
Temperatura	Bagno termostato Heto Mod. CBN 8-30 e termostato Mod. HMT-200	taratura delle termoresistenze/termocoppie
	Frigocongelatore termostato Isotech Mod. Gemini 550 B range T da 35°C a 550°C stabilità $\pm 0.05^\circ\text{C}$	taratura delle termoresistenze/termocoppie

	Termoresistenza campione Tersid e termometro digitale Labfacility Range di taratura da -30°C a 300°C Risoluzione termometro 0.01°C	Termoresistenza campione è utilizzata, come standard primario, nel laboratorio tarature per le tarature dei sensori di temperatura utilizzate per le prove: termoresistenze e termocoppie.
	Termocamera FLIR System ThermCAM PM 695	La termocamera permette di ottenere immagini termiche delle superfici riprese. Nel laboratorio viene utilizzata per analisi termiche non intrusiva degli apparecchi in prova.

Le incertezze sulle grandezze fisiche misurate nel laboratorio ICELAB (i.e. temperatura, umidità relativa, potenza elettrica) vengono calcolate considerando gli errori di misura delle variabili da cui le grandezze fisiche dipendono e i metodi per la propagazione degli errori.

Tabella 10. Stime degli errori di misura confrontate con i valori previsti dalla normativa di riferimento.

Grandezza	Range di misura	Incertezza	Norma UNI-EN-ISO 15502	Norma EN 50304
TEMPERATURA			± 0.5°C	± 1.5°C
Termoresistenza PT100 1/10 DIN	-30÷100°C	± 0.11°C		
Termoresistenza PT100 1/5 DIN	-30÷100°C	± 0.16°C		
Termocoppia tipo K	20÷300°C	± 0.57°C		
Termocoppia tipo T	20÷300°C	± 0.41°C		
UMIDITA'			± 0.3°C espresso come punto di rugiada	
Misura in corrente	20÷100%	± 0.92% Ur	a 25°C 50%Ur ±1.2%Ur	
Misura in tensione	20÷100%	± 1.11% Ur	a 25°C 50%Ur ±1.2%Ur	
POTENZA ELETTRICA			± 1W	± 10W
Con convertitore (out 0-1mA) e misura in tensione	0÷1000W	± 0.82W		
Con convertitore (out 4-20mA) e misura in corrente	0÷1000W	± 0.68W		
ENERGIA ELETTRICA GIORNALIERA			± 1%	± 1.5% o 10Wh
Con convertitore (out 0-1mA) e misura in tensione		± 0.48Wh		
Con convertitore (out 4-20mA) e misura in corrente		± 0.48Wh		
TENSIONE ELETTRICA				± 0.5%
Con convertitore (out 4-20mA) e misura in corrente	200÷250V	± 0.2V		a 230V ± 1.2V
CORRENTE ELETTRICA				
Con convertitore (out 4-20mA) e misura in corrente	0÷5A	± 3.1mA		
MASSA				± 3g
Con bilancia digitale	0÷4000g	< 0.3g		
TEMPO				± 5s
Con clock PC		<<± 1s		

3.2 Campione di prova

Come oggetto dello studio è stato utilizzato un campione commerciale (di seguito denominato “cmpA”) del 2009, un frigocongelatore modulare a 3 porte di classe A, dotato di un vano (FTZ) impostabile su 6 modalità di funzionamento (+6 °C, 0°C, - 6°C, - 12°C e - 18°C) attraverso il termostato del gruppo freezer.



Figura 6. Foto del cmpA.

Tabella 11. Principali caratteristiche del cmpA.

Caratteristiche	Note
Classe energetica	La classe energetica dichiarata dal produttore è la classe A.
Classe climatica	SN/N/ST
Dimensioni	- larghezza: 60 cm - lunghezza: 60 cm - altezza: 190 cm
Volumi	- V lordo totale: 419 l - V lordo congelatore: 123 l - V utile totale: 370 l - V utile congelatore: 75 l
Ripiani	Possono essere sia pieni che a griglia. Sono tutti estraibili e regolabili in altezza grazie alle apposite guide.

3.3 Metodologia di prova

In questa prima fase, la sperimentazione dello Standard si è concentrata primariamente sulle prove di consumo energetico descritte nella sezione 3 della norma. In particolare, sia per le temperature ambiente di 16 e 32°C:

- le prove qui nominate “Energy”, riferite agli Annex B (*Determination of stable power and temperature*) e C (*Defrost and recovery energy and temperature change*) dello Standard, hanno permesso di ottenere la potenza in condizioni stazionarie e il consumo energetico addizionale dovuto ai cicli di defrost (in accordo con l’Annex E, le prove Energy sono state ripetute due volte e i risultati ottenuti sono stati interpolati linearmente);
- dalle prove “Load”, riferite all’Annex G (*Determination of load processing energy efficiency*), si sono ottenute le efficienze di processo di un carico.

Tali prove sono state condotte per due modalità di funzionamento del frigocongelatore cmpA:

- Mod1: il termostato del gruppo freezer è stato impostato in modo da convertire a congelatore (3 stelle) anche il vano modulabile FTZ;
- Mod2: con impostazione del termostato atta a convertire il vano modulabile in un comparto cibi freschi.

Nella seconda modalità di funzionamento (che permette un gioco termostatico molto limitato), si è infine valutato interessante sottoporre il campione anche alla prova di “Storage”, descritta nella Parte 2 dello Standard. In particolare si è deciso di condurre tale test a 16-32°C (anziché 10-38°C, come prescritto per la classe climatica del cmpA) e di confermare la misura della potenza elettrica assorbita (non strettamente necessaria, secondo la norma) per ricavare una prima stima dello scostamento (rispetto ai metodi di misura vigenti) introdotto dalla scelta di eseguire “a vuoto” le prove di consumo.

Tabella 12. Elenco delle prove effettuate sul cmpA.

Riferimento prova	Modalità di funzionamento del cmpA	T _{amb}
cmpA_Mod1_Energy16-a	Mod1	16°C
cmpA_Mod1_Energy16-b	Mod1	16°C
cmpA_Mod1_Load16	Mod1	16°C
cmpA_Mod1_Energy32-a	Mod1	32°C
cmpA_Mod1_Energy32-b	Mod1	32°C
cmpA_Mod1_Load32	Mod1	32°C
cmpA_Mod2_Energy16-a	Mod2	16°C
cmpA_Mod2_Energy16-b	Mod2	16°C
cmpA_Mod2_Load16	Mod2	16°C
cmpA_Mod2_Storage16	Mod2	16°C
cmpA_Mod2_Energy32-a	Mod2	32°C
cmpA_Mod2_Energy32-b	Mod2	32°C
cmpA_Mod2_Load32	Mod2	32°C
cmpA_Mod2_Storage32	Mod2	32°C

Il *setup* sperimentale della cella e, per ciascuna tipologia di prova, del campione di prova è stato definito coerentemente con la procedura prIEC 62552 ed2 (2013):

- Negli *Energy* e *Load* test sia il vano cibi-freschi che lo scomparto FTZ sono stati strumentati con 3 Pt100 (tipo A + *copper cylinders*) e il vano freezer con 5 sonde della stessa tipologia, secondo gli schemi riportato in figura 7.

- Le prove di *Load processing* hanno previsto il carico di 6 bottiglie d'acqua (a temperatura ambiente) da mezzo litro nel vano *fresh-food* (2 bottiglie per ogni ripiano) e di una vaschetta per la formazione di ghiaccio, riempita con 150 cl d'acqua (a temperatura ambiente, sia nel vano FTZ che in quello a bassa temperatura; concomitantemente con l'inserimento dei carichi gli sportelli dei vani sono stati aperti di 90° per 1 minuto.
- Nelle prove di *Storage* è stato modificato il setup del vano freezer, rimuovendo le Pt100 e aggiungendo un carico (stabilizzato) di 24 kg composto da 44 pacchetti standard⁵ da mezzo chilo e 4 pacchi di misura, collocati nei quattro angoli del vano.

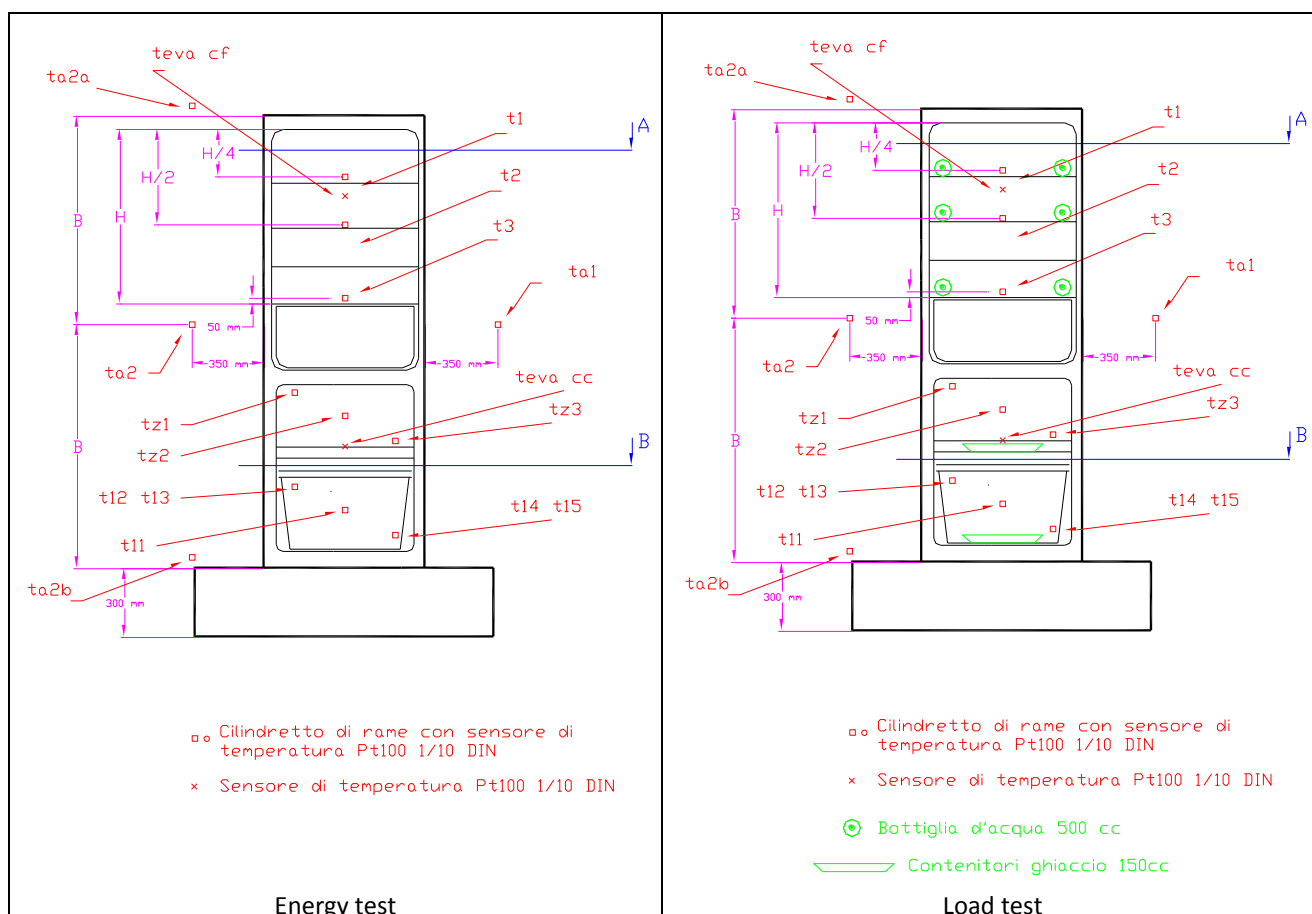


Figura 7. Setup di misura nelle prove *Energy* e *Load*.

Per quanto concerne la fase preparativa delle prove, è qui opportuno segnalare che la principale criticità introdotta dalla nuova procedura di prova è relativa alla scelta di condurre “a vuoto” le prove di consumo. Infatti, rispetto alle procedure di misura vigenti, che diversamente prevedono la presenza di pacchi, la necessità di inserire i sensori di temperatura dell'aria (cilindretti di rame con Pt100) anche nei vani a bassa temperatura (secondo determinate geometrie), ha comportato maggiori tempi per la strumentazione del campione, anche dovuti alla necessità di realizzare opportuni sistemi ausiliari per il supporto delle sonde.

⁵ Dimensioni: 50 mm ± 2 mm x 100 mm ± 3 millimetri x 100 mm ± 3 mm; composizione: 115 g di ossi-etil-metil-cellulosa, 382.1 g di acqua, 2.5 g di cloruro di sodio, 0.4 g di 6-cloro-m-cresolo; punto di congelamento: -1°C.



Figura 8. Foto relative ai test condotti: a) setup del vano cibi-freschi; b) prova di *Load* nel vano cibi freschi; c) strumentazione del vano FTZ; d) strumentazione dello scomparto freezer; e) vaschette per ghiaccio utilizzate nei vani a bassa temperatura durante le prove di *Load*; f) carico dello scomparto freezer durante le prove di *Storage*.

3.4 Risultati delle prove effettuate

3.4.1 Prove in Mod1 a 16°C

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le prove effettuate in modalità di funzionamento 1 (vano FTZ convertito in vano 3 stelle) e alla temperatura ambiente di 16°C.

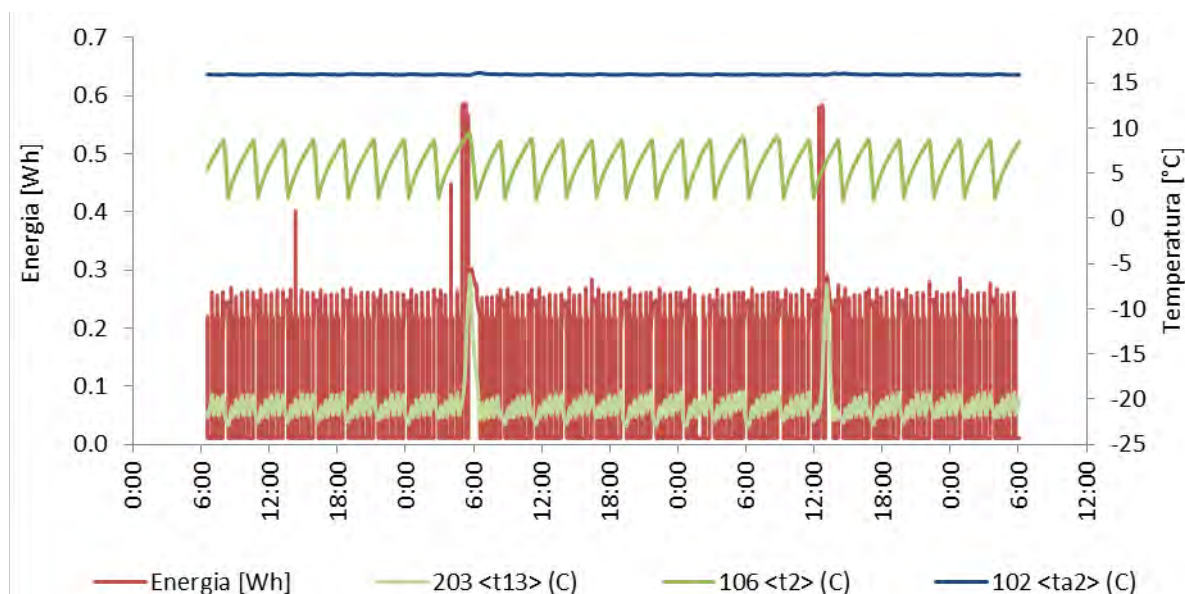


Figura 9. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod1_Energy16-a. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

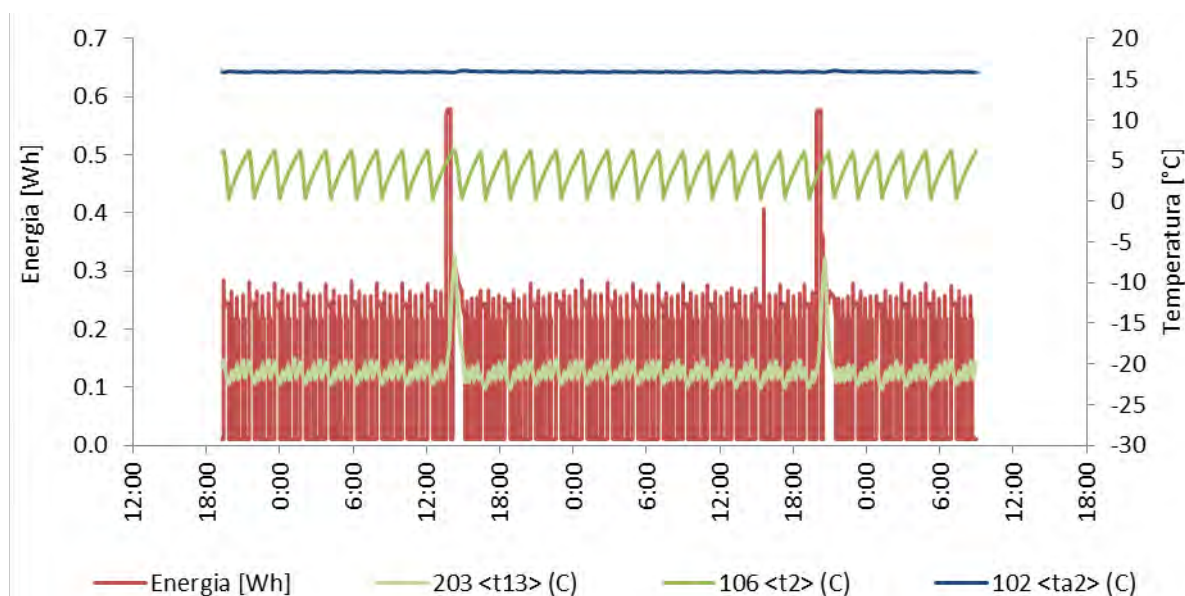


Figura 10. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod1_Energy16-b. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

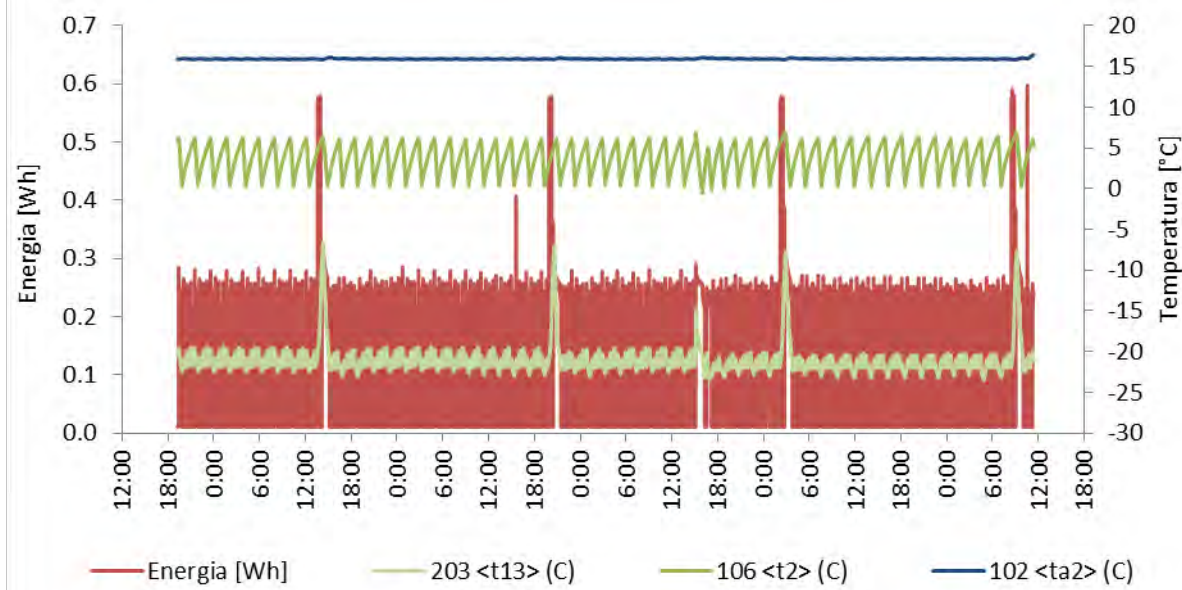


Figura 11. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod1_Load16. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

Adottando le procedure di elaborazione e validazione proposte dallo Standard oggetto di studio, si sono ottenuti i risultati riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 13. Risultati delle prove Energy in Mod1 a 16°C.

Risultati Energy		cmpA_Mod1_Energy16-a	cmpA_Mod1_Energy16-b	Interpolazione
Steady state power [W]		35.3	37.1	36.9
Steady state temperature [°C]	fresh-food	6.06	3.7	4.0
	freezer	-21.02	-21.1	-21.1
% compressor Run-Time		39%	0.4	0.4
Steady state power correct. [W]		35.5	37.3	37.1
Additional energy defrost [Wh]		89.5	92.6	92.2
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	0.0	0.0	0.0
	freezer	0.0	0.0	0.0
Additional compressor run-time [h]		0.73	0.7	0.7
Defrost interval [h]		31.45	30.3	30.4

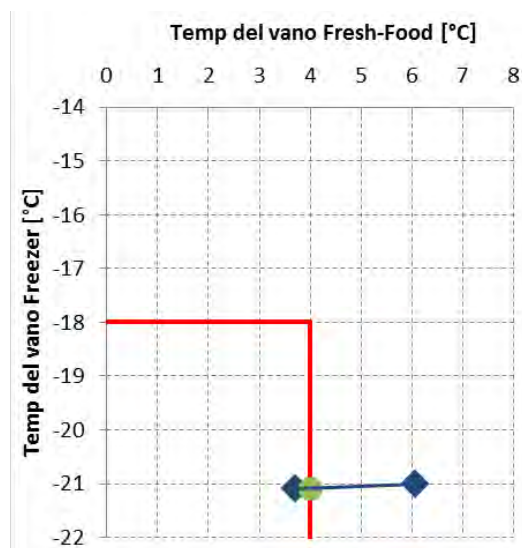


Figura 12. Interpolazione sulla temperatura target del vano *Fresh-Food* (4°C).

Tabella 14. Risultati della prova *Load* in Mod1 a 16°C.

Risultati <i>Load</i>	cmpA_Mod1_Load16
Load input energy [Wh]	79
Load additional energy [Wh]	73
Load processing Efficiency	1.09

3.4.2 Prove in Mod1 a 32°C

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le prove effettuate in modalità di funzionamento 1 (vano FTZ convertito in vano 3 stelle) e alla temperatura ambiente di 32°C.

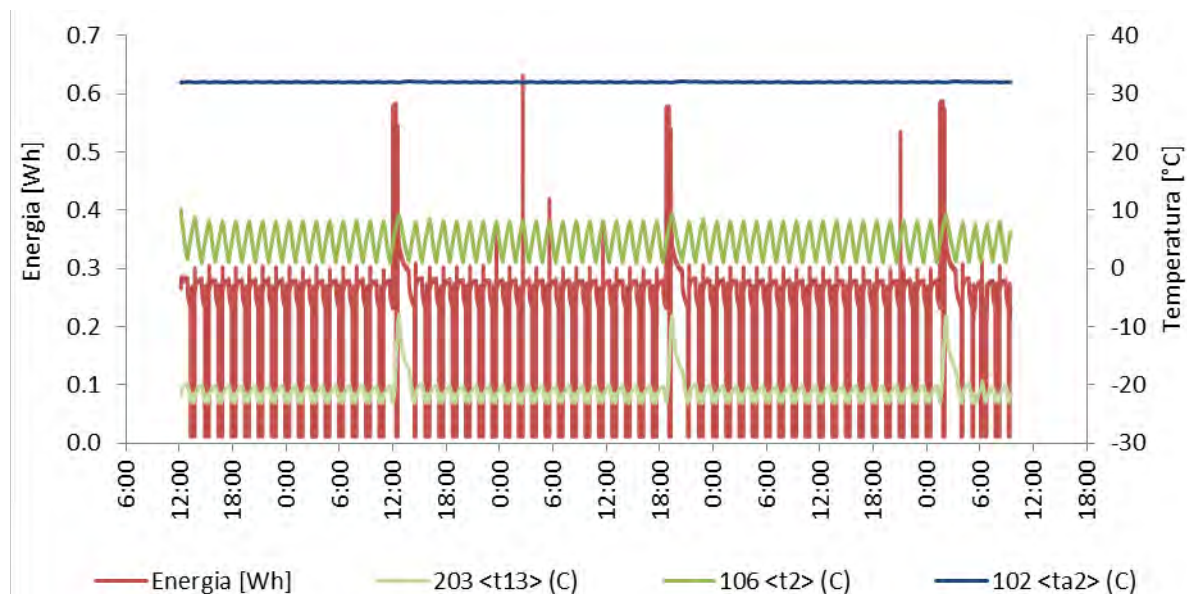


Figura 13. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod1_Energy32-a. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

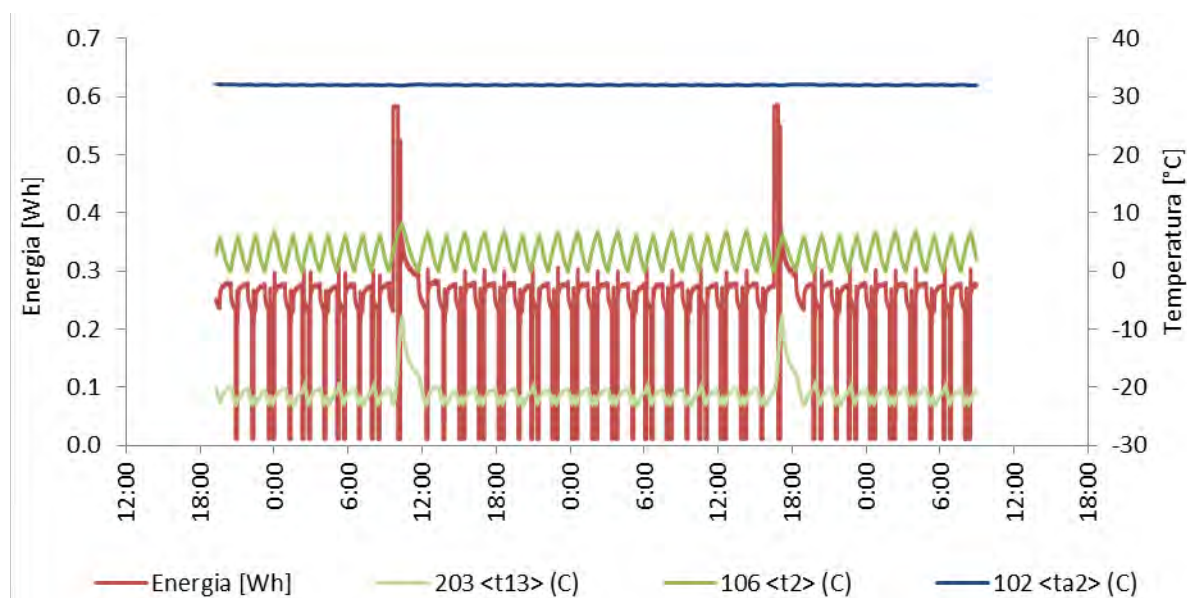


Figura 14. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod1_Energy32-b. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

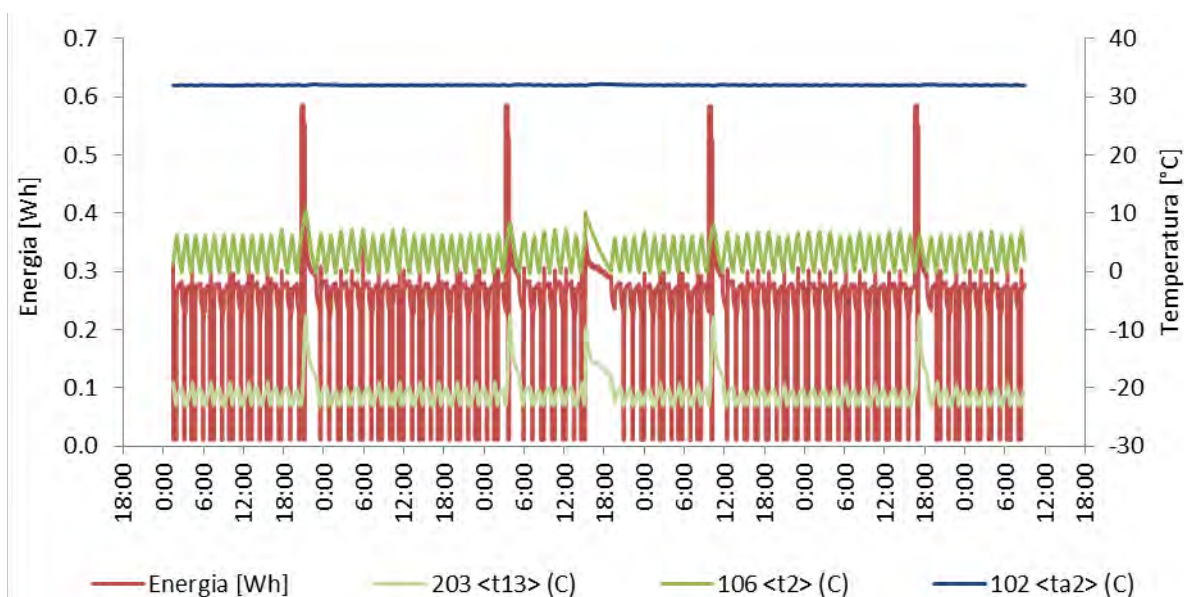


Figura 15. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod1_Load32. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

Adottando le procedure di elaborazione e validazione proposte dallo Standard oggetto di studio, si sono ottenuti i risultati riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 15. Risultati delle prove Energy in Mod1 a 32°C.

Risultati Energy		cmpA_Mod1_Energy32-a	cmpA_Mod1_Energy32-b	Interpolazione
Steady state power [W]		78.3	81.1	80.1
Steady state temperature [°C]	fresh-food	5.0	3.4	4.0
	freezer	-21.1	-20.9	-21.0
% compressor Run-Time		0.8	0.9	0.8
Steady state power correct. [W]		78.3	81.1	80.1
Additional energy defrost [Wh]		87.4	77.4	81.1
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	0.0	0.0	0.0
	freezer	0.0	-0.1	0.0
Additional compressor run-time [h]		0.3	0.2	0.2
Defrost interval [h]		30.7	30.6	30.7

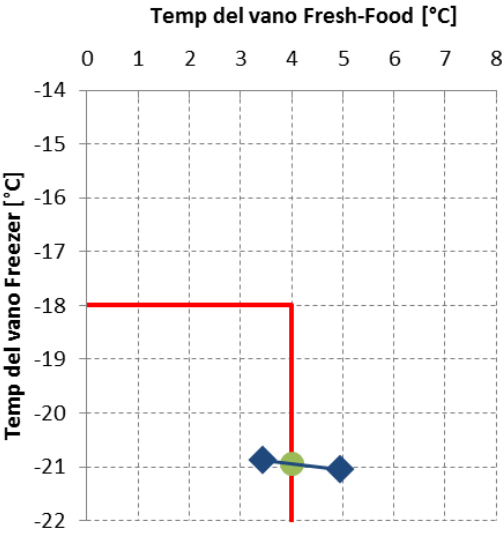


Figura 16. Interpolazione sulla temperatura target del vano *Fresh-Food* (4°C).

Tabella 16. Risultati della prova *Load* in Mod1 a 32°C.

Risultati <i>Load</i>	cmpA_Mod1_Load32
Load input energy [Wh]	142
Load additional energy [Wh]	131
Load processing Efficiency	1.09

3.4.3 Prove in Mod2 a 16°C

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le prove effettuate in modalità di funzionamento 2 (vano FTZ convertito in vano cibi freschi) e alla temperatura ambiente di 16°C.

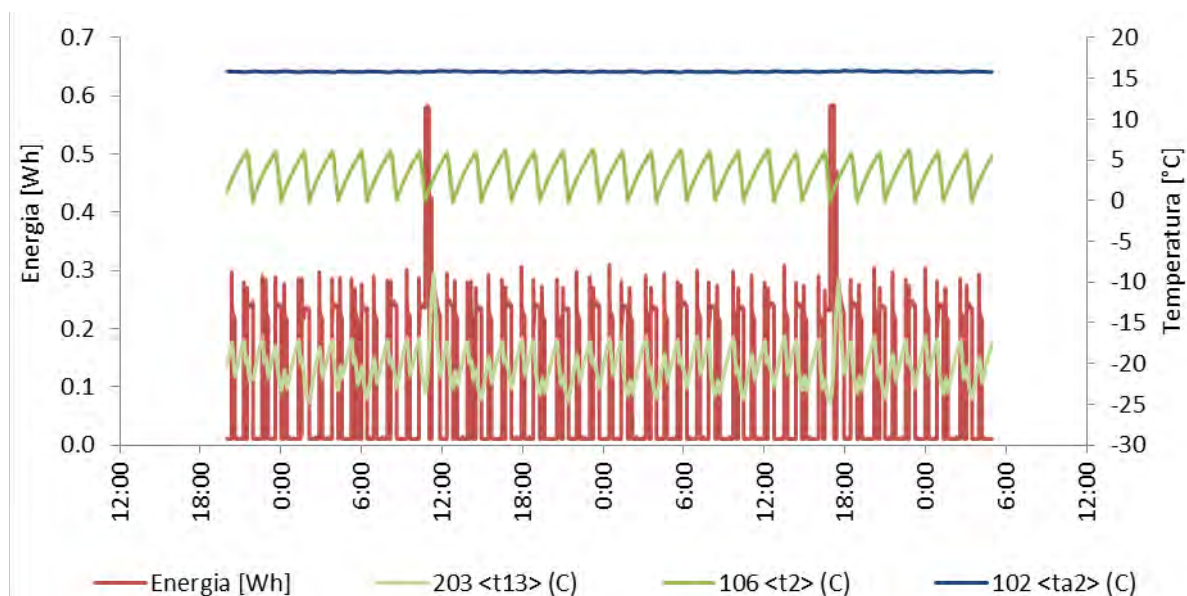


Figura 17. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Energy16-a. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

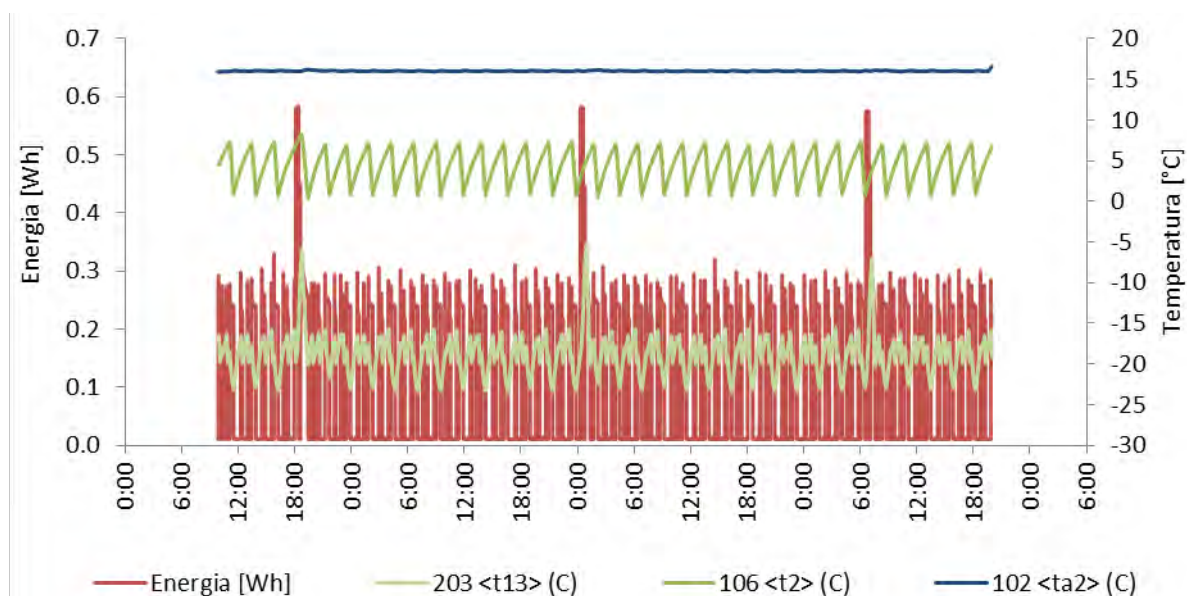


Figura 18. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Energy16-b. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

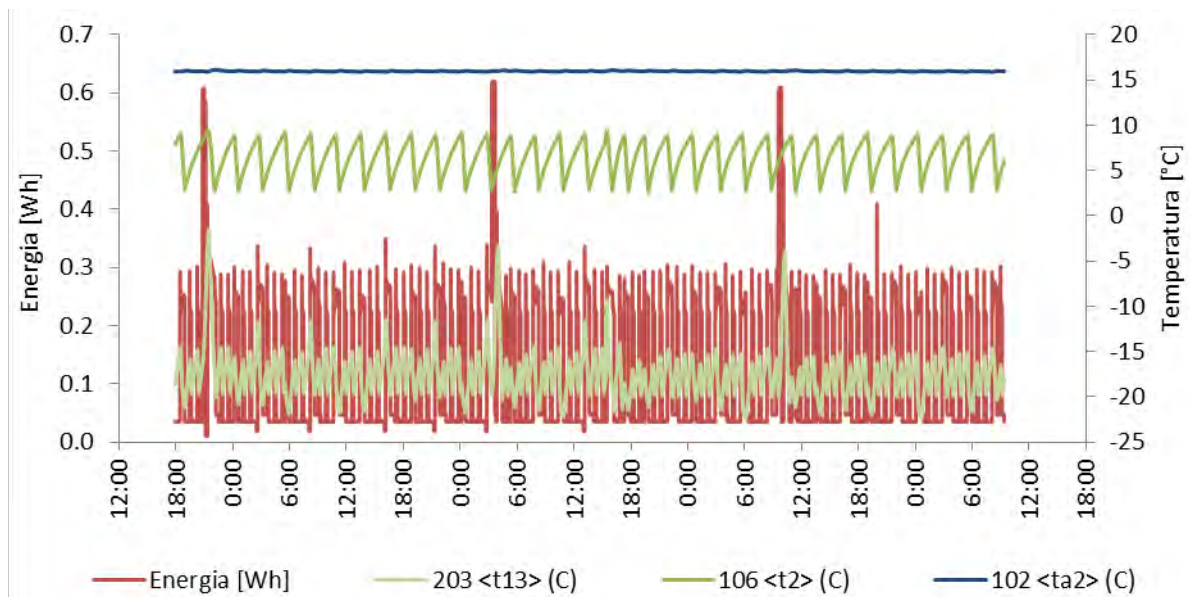


Figura 19. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Load16. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

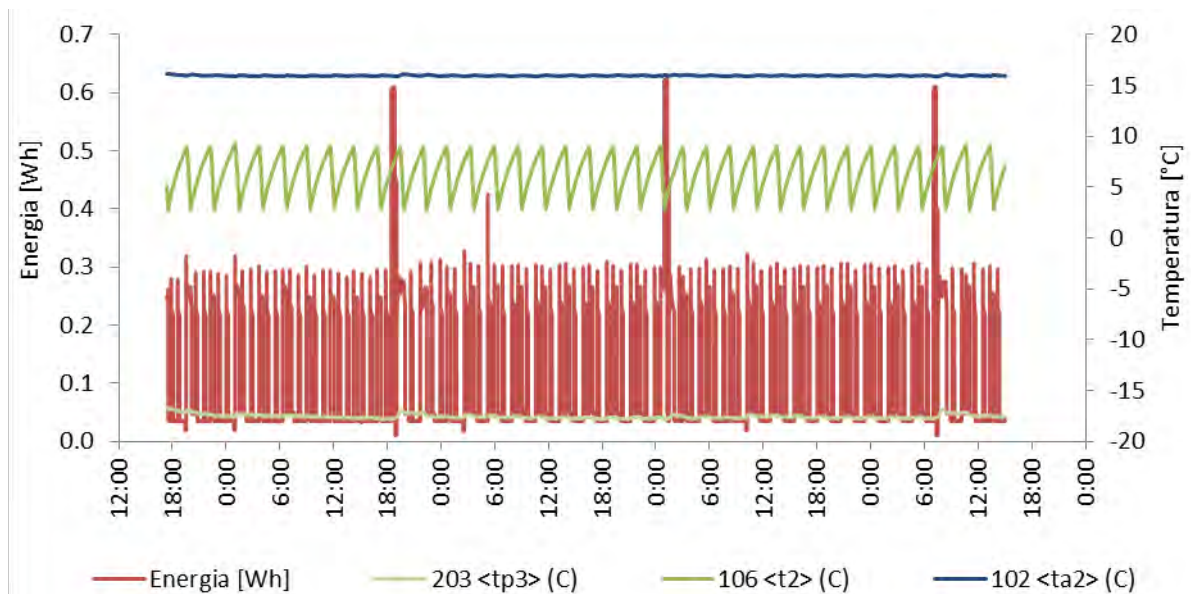


Figura 20. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Storage16. Dove: tp3 (canale 203) si riferisce a uno dei pacchi di misura collocati nel vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

Adottando le procedure di elaborazione e validazione proposte dallo Standard oggetto di studio, si sono ottenuti i risultati riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 17. Risultati delle prove Energy in Mod2 a 16°C.

Risultati Energy		cmpA_Mod2_Energy16-a	cmpA_Mod2_Energy16-b	Interpolazione
Steady state power [W]		34.8	31.5	32.8
Steady state temperature [°C]	fresh-food	3.41	4.39	4.0
	freezer	-20.28	-19.08	-19.6
% compressor Run-Time		38%	34%	36%
Steady state power correct. [W]		35.1	31.4	32.9
Additional energy defrost [Wh]		74.2	86.9	82
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	0.0	0.0	0.0
	freezer	0.0	-0.1	0.0
Additional compressor run-time [h]		0.58	0.64	0.62
Defrost interval [h]		30.16	30.24	30.21

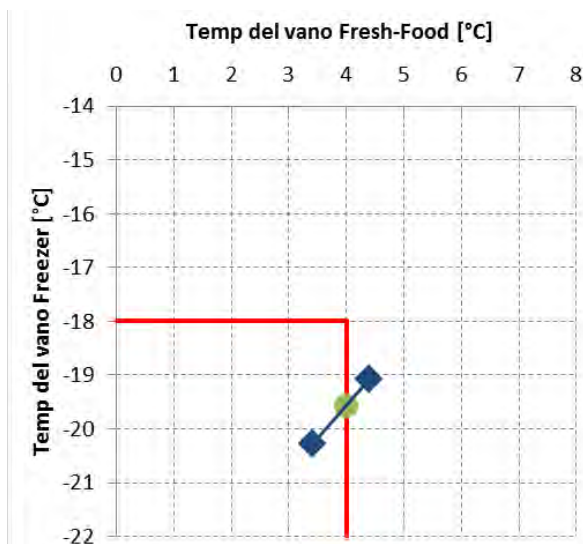


Figura 21. Interpolazione sulla temperatura target del vano Fresh-Food (4°C).

Tabella 18. Risultati della prova Load in Mod2 a 16°C.

Risultati Load	cmpA_Mod1_Load16
Load input energy [Wh]	69
Load additional energy [Wh]	59
Load processing Efficiency	1.18

Tabella 19. Risultati della prova Storage in Mod2 a 16°C.

Risultati Storage		cmpA_Mod1_Storage16	
Steady state power [W]		40.4	
steady state temperature [°C]	fresh-food	6.51	
	freezer	-17.85	
% compressor Run-Time		35%	
steady state power correct. [W]		40.5	
Additional energy defrost [Wh]		92	
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	0.00	
	freezer	0.00	
Additional compressor run-time [h]		0.69	
Defrost interval [h]		30.24	
storage check [°C]	Tma	6.50	Limite non rispettato (4°C)
	T*** max steady	-15.20	Limite non rispettato (-18°C)
	T*** max defrost	-13.64	Limite non rispettato (-15°C)

3.4.4 Prove in Mod2 a 32°C

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le prove effettuate in modalità di funzionamento 2 (vano FTZ convertito in vano cibi freschi) e alla temperatura ambiente di 32°C.

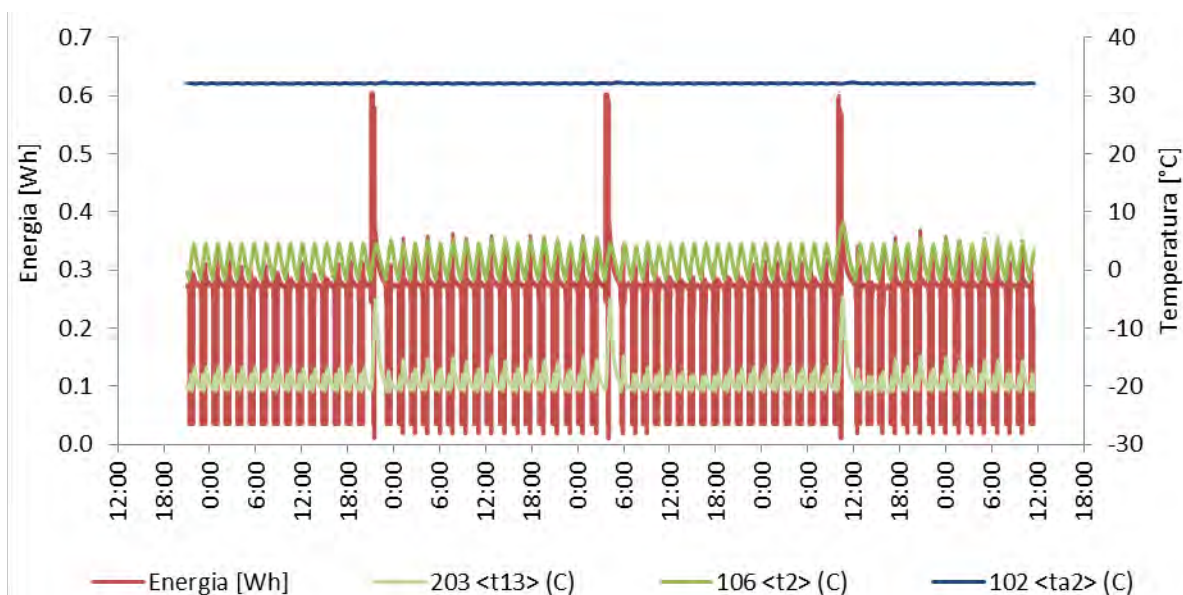


Figura 22. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Energy32-a. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

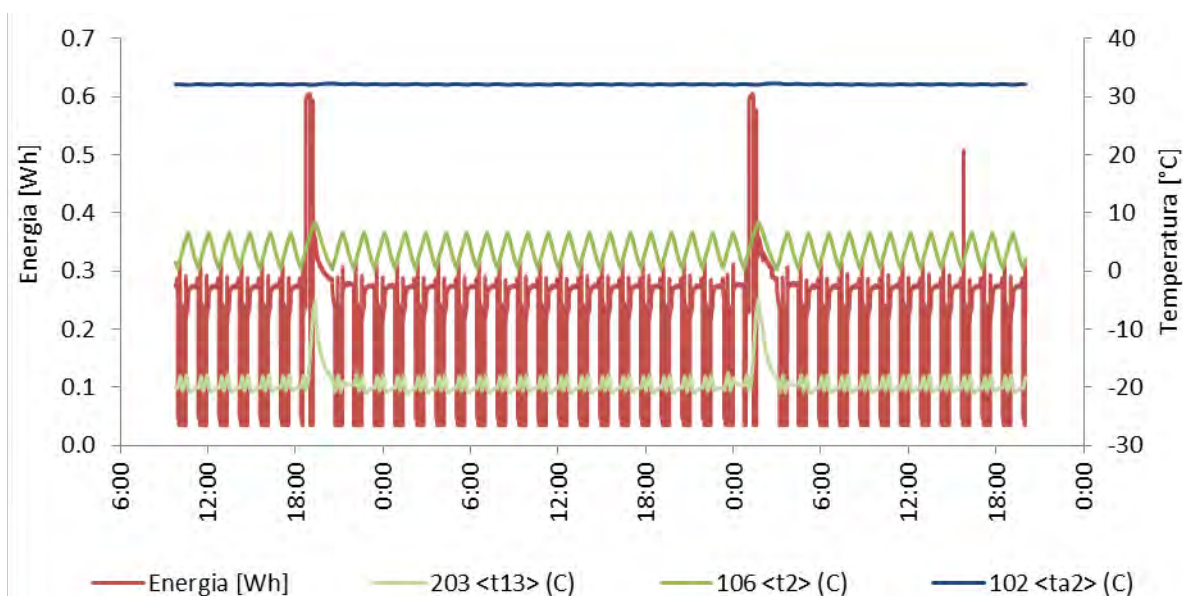


Figura 23. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Energy32-b. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

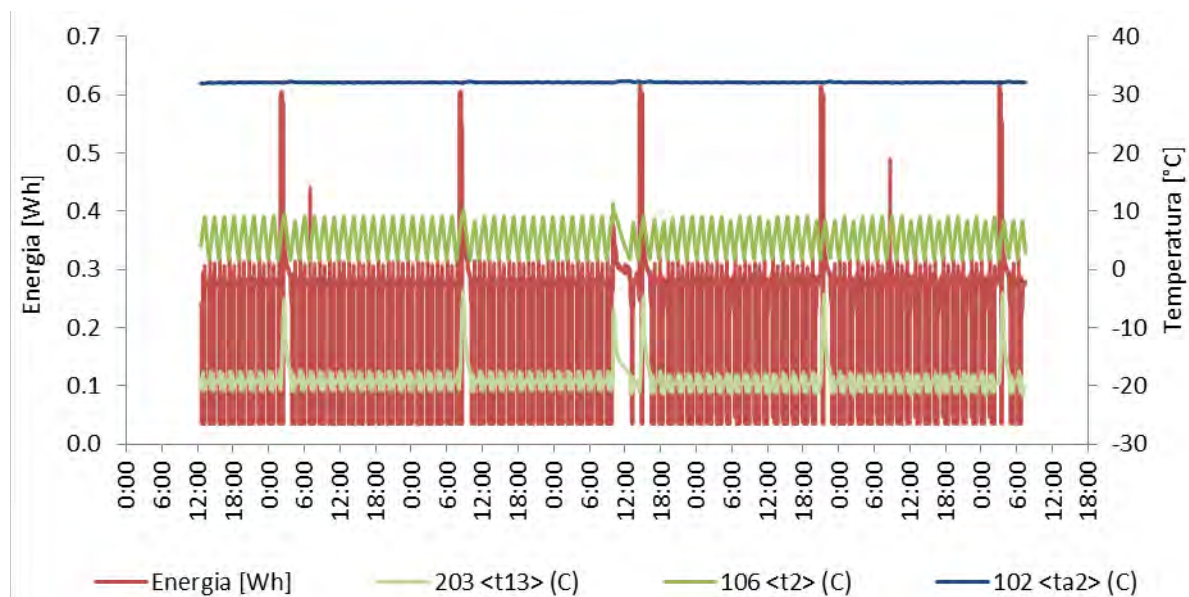


Figura 24. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Load32. Dove: t13 (canale 203) si riferisce alla termoresistenza installata nella parte alta del vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

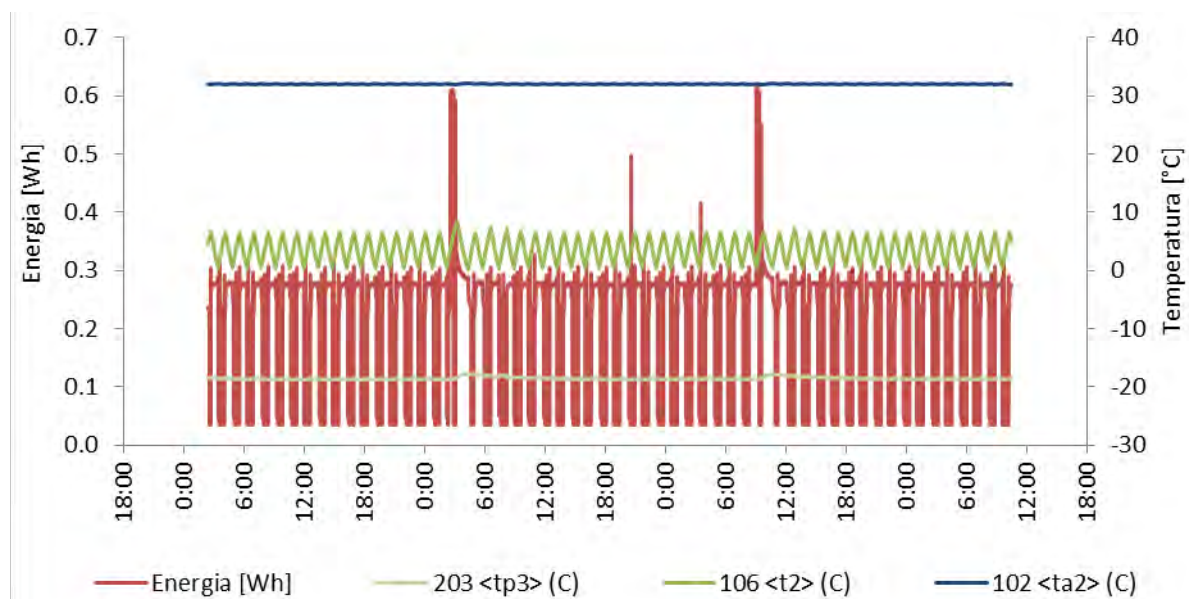


Figura 25. Andamenti di energia e temperatura risultanti dalla prova cmpA_Mod2_Storage32. Dove: tp3 (canale 203) si riferisce a uno dei pacchi di misura collocati nel vano congelatore, t2 (canale 106) a quella collocata al centro del vano cibi freschi e ta2 (canale 102) alla temperatura ambiente.

Adottando le procedure di elaborazione e validazione proposte dallo Standard oggetto di studio, si sono ottenuti i risultati riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 20. Risultati delle prove Energy in Mod2 a 32°C.

Risultati Energy		cmpA_Mod2_Energy16-a	cmpA_Mod2_Energy16-b	Interpolazione
Steady state power [W]		74.7	73.1	73.9
Steady state temperature [°C]	fresh-food	2.02	5.70	4.0
	freezer	-18.65	-19.19	-18.9
% compressor Run-Time		73%	75%	74%
Steady state power correct. [W]		74.4	72.7	73.5
Additional energy defrost [Wh]		74.0	73.4	74
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	0.0	0.0	0.0
	freezer	0.0	0.0	0.0
Additional compressor run-time [h]		0.29	0.28	0.29
Defrost interval [h]		30.46	30.32	30.39

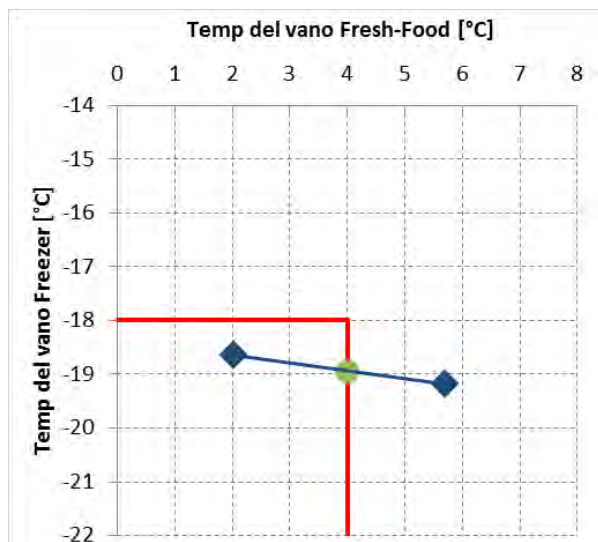


Figura 26. Interpolazione sulla temperatura target del vano *Fresh-Food* (4°C).

Tabella 21. Risultati della prova Load in Mod2 a 32°C.

Risultati Load	cmpA_Mod1_Load16
Load input energy [Wh]	134
Load additional energy [Wh]	126
Load processing Efficiency	1.06

Tabella 22. Risultati della prova Storage in Mod2 a 32°C.

Risultati Storage		cmpA_Mod1_Storage16	
Steady state power [W]		74.3	
steady state temperature [°C]	fresh-food	3.91	
	freezer	-19.25	
% compressor Run-Time		73%	
steady state power correct. [W]		74.3	
Additional energy defrost [Wh]		64	
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	0.00	
	freezer	0.00	
Additional compressor run-time [h]		0.26	
Defrost interval [h]		30.47	
storage check [°C]	Tma	3.97	Limite rispettato (4°C)
	T*** max steady	-17.44	Limite non rispettato (-18°C)
	T*** max defrost	-15.52	Limite rispettato (-15°C)

3.5 Discussione dei risultati

In riferimento al sommario dei risultati finali riportato di seguito, si propongono le seguenti considerazioni:

- Rilevante risulta la dipendenza delle prestazioni di stato stazionario rispetto alla temperatura ambientale di prova: passando da 16°C a 32°C, la potenza aumenta del 120% circa e il tempo di funzionamento del compressore di quasi il 110%.
- Viceversa i parametri che descrivono il contributo dovuto al ciclo di sbrinamento risultano maggiori in corrispondenza di bassi regimi di funzionamento del compressore e quindi a T_{amb} di 16°C: passando da 16°C a 32°C infatti, ΔE_{df} si riduce del 10% e Δt_{dr} del 60% circa.
- Le variazioni di temperatura all'interno dei vani dovute al ciclo di *defrost* risultano generalmente di limitata (trascurabile) entità;
- per il campione analizzato, l'intervallo di *defrost* e l'efficienza di processo di un carico risultano dipendere debolmente dalla temperatura ambiente e dalla modalità di funzionamento.
- Alle performances energetiche rilevate non risulta garantita la capacità di mantenimento di un carico surgelato, disciplinata dal test di *Storage* della nuova procedura. Lo scostamento dalle condizioni limite specificate (temperatura massima del vano freezer di -18°C, in condizioni stazionarie, e di -15°C durante i cicli di sbrinamento) risulta maggiore nel caso di bassa temperatura ambientale (16°C) a cui sono associati bassi regimi di funzionamento del compressore.

Tabella 23. Riassunto dei risultati finali (post interpolazione) ottenuti dalla fase sperimentale.

			Mod 1		Mod 2	
			16°C	32°C	16°C	32°C
Steady state power [W]		P_{SS2}	36.9	80.1	32.8	73.9
Steady state temperature [°C]	fresh-food	$T_{SS2,unfrozen}$	4.00	4.00	4.00	4.00
	freezer	$T_{SS2,frozen}$	-21.09	-20.95	-19.56	-18.94
% compressor Run-Time		CRT_{SS2}	41%	84%	36%	74%
Steady state power correct. [W]		P_{SS}	37.1	80.1	32.9	73.5
Additional energy defrost [Wh]		ΔE_{df}	92	81	82	74
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	$\Delta T_{df,unfrozen}$	0.00	0.00	0.00	-0.01
	freezer	$\Delta T_{df,frozen}$	0.00	-0.04	-0.04	0.01
Additional compressor run-time [h]		Δt_{dr}	0.66	0.23	0.62	0.29
Defrost interval [h]		t_{df}	30.44	30.66	30.21	30.39
Load input energy [Wh]		$E_{input-test}$	71	142	69	134
Load additional energy [Wh]		$E_{additional-test}$	49	131	59	126
Load processing Efficiency [-]		$Efficiency_{load,ambient}$	1.09	1.09	1.18	1.06
Storage check [°C]	$T_{ma,unfrozen}$		n.d.	n.d.	6.50	3.97
	max $T_{SS2,frozen}$		n.d.	n.d.	-15.20	-17.44
	max $T_{df,frozen}$		n.d.	n.d.	-13.64	-15.52

Applicando la formulazione IEC per il calcolo del consumo giornaliero (Cap. 2.6) si ottengono i risultati riportati di seguito, con un aumento di circa il 110% passando da 16°C a 32°C e una riduzione del 10% passando da Mod1 a Mod2.

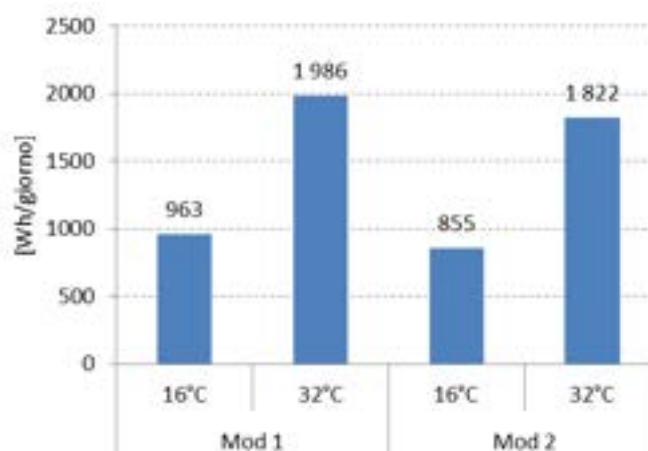


Figura 27. Consumo energetico giornaliero alle diverse T_{amb} e modalità di funzionamento.

Per quanto riguarda le prove di *Storage* eseguite, che, come discusso in precedenza, sono state anch'esse condotte a 16-32°C e monitorando anche la potenza assorbita, è interessante confrontarne i risultati con quelli delle prove *Energy* eseguite a parità di regolazione dei termostati (Tabella 24). Conseguentemente all'inserimento del carico stabilizzato nel vano a bassa temperatura dell'apparecchio utilizzato, si osserva che:

- La potenza in condizioni stazionarie aumenta apprezzabilmente (+28%) solo in corrispondenza della temperatura ambientale di 16°C;
- L'energia addizionale di sbrinamento aumenta maggiormente (+21% contro +6%) per la T_{amb} di 32°C;
- Le temperature medie in condizioni stazionarie dei vani possono variare anche sensibilmente: +48% nel vano cibi-freschi a temperatura ambiente di 16°C.

Tabella 24. Confronto tra prove *Energy* e *Storage* (alla stessa regolazione dei termostati).

		16°C		32°C	
		<i>Energy</i>	<i>Storage</i>	<i>Energy</i>	<i>Storage</i>
Steady state power [W]		31.5	40.4	74.6	74.3
Steady state temperature [°C]	fresh-food	4.39	6.51	3.90	3.91
	freezer	-19.08	-17.85	-19.56	-19.25
% compressor Run-Time		34%	35%	75%	73%
Steady state power correct. [W]		31.4	40.5	74.2	74.3
Additional energy defrost [Wh]		87	92	53	64
Defrost temperature change [°C]	fresh-food	0.00	0.00	0.00	0.00
	freezer	-0.05	0.00	0.00	0.00
Additional compressor run-time [h]		0.64	0.69	0.07	0.26
Defrost interval [h]		30.24	30.24	30.38	30.47

Considerando che l'ingegnerizzazione e l'ottimizzazione di prodotto relative al modello di apparecchio oggetto dei test è stata condotta in riferimento agli standard vigenti (in particolare a una temperatura ambientale di 25°C) e che quindi è preventivabile uno scostamento intrinseco tra il suo funzionamento reale e quello richiesto dal nuovo approccio IEC (a 16 e 32°C), risulta opportuno annotare che le condizioni di accettabilità imposte da quest'ultimo (Tabelle 3 e 5) sono risultate generalmente soddisfatte. L'eccezione

(non però trascurabile) è rappresentata dalla verifica sulla differenza di potenza media tra i periodi X e Y, utili al calcolo delle condizioni di funzionamento di stato stazionario (Cap. 2.2). Solo in alcune prove è stato infatti rispettato lo scostamento massimo consentito del 2%, ma esso non ha mai superato il 4% (pari a circa 2 W).

Tale aspetto dovrebbe essere attentamente valutato in fare di discussione, revisione e recepimento del nuovo standard, anche eseguendo prove aggiuntive rispetto a quelle qui presentate.

3.6 Calcolo del consumo energetico annuale

A partire dallo scenario delineato da IEC (Cap. 2.6) si è ritenuto interessante e rilevante, proporre con il presente studio un possibile metodo per completare il calcolo del consumo annuale in funzione delle differenti condizioni *indoor* che caratterizzano l'area EU.

L'analisi della bibliografia di settore ha però evidenziato una scarsissima disponibilità di dati sugli andamenti annuali delle temperature nei locali in cui vengono installati i frigocongelatori europei: i dati più completi, raccolti per gli studi preparatori dei regolamenti *EcoDesign* [4], si riferiscono infatti a indagine statistiche basate sulla percezione degli utenti (anziché su misure) e limitate ai valori massimi e minimi di temperatura, relativi solo ad alcuni contesti europei (Figura 28).

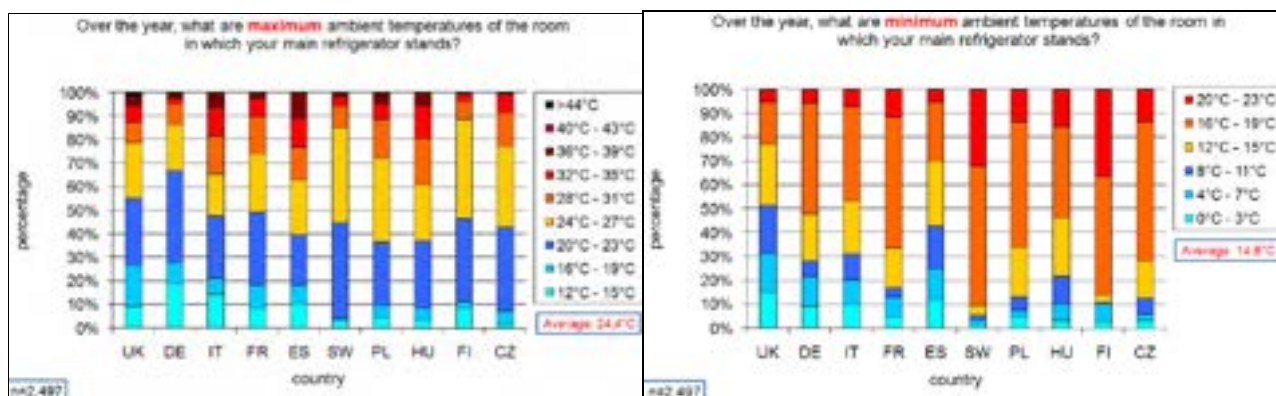


Figura 28. Statistiche ottenute sulla temperatura ambiente in diversi contesti europei dagli studi preparatori *EcoDesign* [4].

Valutando come complessa e non sufficientemente affidabile la possibilità di utilizzare tali informazioni per il calcolo in oggetto, si è preferito standardizzare il problema e basare l'operazione di media pesata tra i consumi giornalieri a 16 e 32°C su dati ricavati dalla simulazione termica di prototipi di edifici residenziali.

In particolare, sono stati utilizzati i risultati grezzi (già disponibili e utilizzati in precedenza nell'ambito di diversi progetti IEE) di simulazioni condotte in ambiente EnergyPlus [5] su villette monofamiliari (di circa 120 m²) caratteristiche di diversi contesti europei (Stoccolma, Vienna, Parigi, Roma, Foggia, Palermo e Siviglia) e controllate per garantire un *setpoint* fissato durante l'occupazione invernale (20-21°C durante il giorno e 18-19°C durante la notte) e livelli di comfort adattivo⁶ (da standard EN 15251 [6]) al di fuori dei periodi di riscaldamento.

L'analisi di tali dati ha permesso di caratterizzare, con un'affidabilità che si considera sufficiente per il calcolo in oggetto, la dipendenza tra clima *outdoor* e *indoor*, attraverso i seguenti passi metodologici:

- calcolo delle distribuzioni normali (definite da media $T_{m,out}$ e deviazione standard σ_{out}) della temperatura esterna dell'anno tipo degli specifici contesti climatici (riferendosi ai file climatici IWE⁷ [7], già utilizzati per le simulazioni termo-energetiche).
- Calcolo delle distribuzioni normali (definite da media $T_{m,in}$ e deviazione standard σ_{in}) delle relative temperature interne simulate (Figura 29).
- Analisi statistica semplificata volta ad individuare la migliore correlazione di valenza europea tra le distribuzioni normali delle temperature esterne e di quelle interne (Figura 30).

⁶ Si sottolinea che tale scelta di controllo estivo comporta un'implicita correlazione tra condizioni climatiche esterne e comfort interno garantito: secondo l'impostazione adattiva la temperatura interna di comfort è infatti una funzione lineare della media mobile della temperatura esterna.

⁷ I dati IWE⁷ (International Weather for Energy Calculations) sono il risultato dell'ASHRAE Research Project 1015 [7] condotto dal Numerical Logics and Bodycote Materials Testing Canada per l'ASHRAE Technical Committee 4.2. I dati, relativi ad anni-tipo, sono stati ottenuti a partire da 18 anni di misure orarie (DATSAV3), tipicamente registrate presso gli aeroporti delle principali città mondiali.

Tabella 24. Medie e deviazioni standard delle temperature esterne e interne nei contesti climatici considerati.

		Stoccolma	Vienna	Parigi	Roma	Foggia	Palermo	Siviglia
Temperatura outdoor	$T_{m,out}$	9.12	9.96	12.92	15.82	15.36	18.61	18.40
	σ_{out}	7.83	8.76	6.47	6.94	7.97	6.97	7.83
Temperatura indoor	$T_{m,in}$	20.89	21.16	21.34	21.83	21.98	22.77	22.89
	σ_{in}	2.33	2.44	2.50	2.67	3.08	3.20	3.34

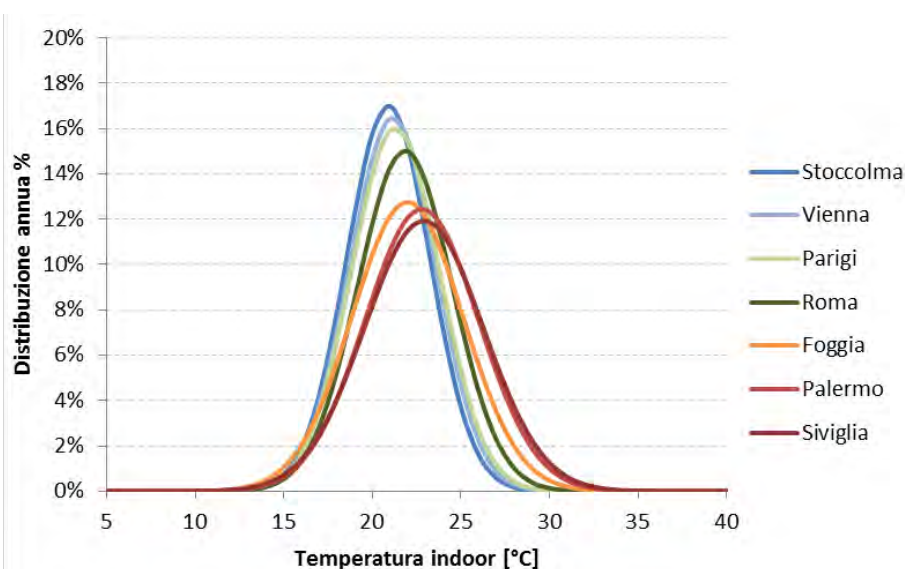


Figura 29. Distribuzioni normali delle temperature interne nelle diverse località considerate nelle simulazioni.

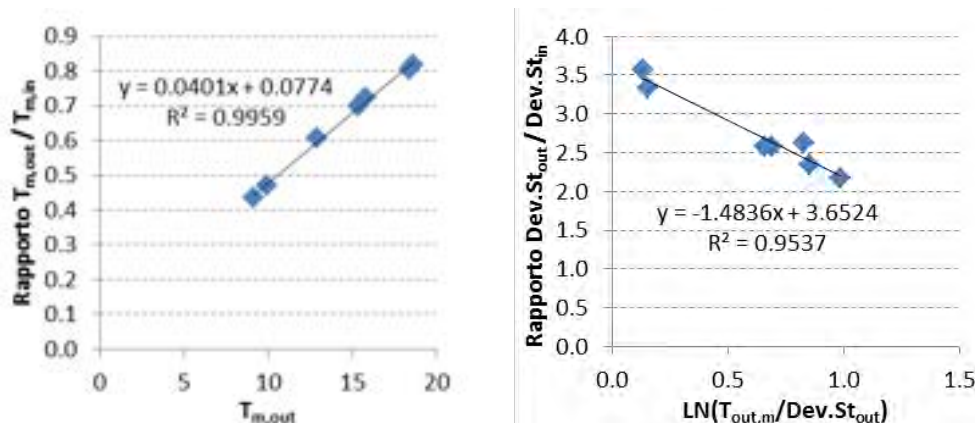


Figura 30. Correlazioni utili a ricavare la distribuzione normale delle temperature interne a partire da quella esterna, in ambito EU.

Dall'analisi condotta risulta possibile ottenere la media annuale e la deviazione standard della temperatura all'interno di un edificio residenziale collocato in una certa località come:

$$T_{m,in} = \frac{T_{m,out}}{0.0401T_{m,out} + 0.0774} \quad \text{e} \quad \sigma_{in} = \frac{\sigma_{out}}{-1.484 \cdot \ln\left(\frac{T_{m,out}}{\sigma_{out}}\right) + 3.652}$$

E quindi la relativa funzione di densità % di probabilità come:

$$f(T_{in}) = N(T_{m,in}, \sigma_{in}) = \frac{1}{\sigma_{in}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T_{in}-T_{m,in})^2}{2\sigma_{in}^2}}$$

Partendo dalle correlazioni ottenute e considerando (nel *range* 16-32°C) una dipendenza lineare tra consumi energetici e temperatura ambiente⁸, il consumo annuale di un apparecchio risulta ora una funzione dei risultati ottenuti a 16 e 32°C dai test IEC (P_{SS} , ΔE_{df} , t_{df} , ΔE_{aux} , ΔE_{add}) e dei soli parametri caratterizzanti la temperatura esterna ($T_{m,out}$ e σ_{out}).

Considerando nulle le probabilità che le temperature interne (T_{in}) siano minori di 0°C o maggiori di 45°C, il consumo annuale per la specifica località/regione sarà cioè ottenibile come:

$$E_{tot} = \sum_{T_{in}=0}^{45} 365 * E_{daily,T_{in}} * \frac{-1.484 \cdot LN(T_{m,out}/\sigma_{out}) + 3.652}{\sqrt{2\pi} * \sigma_{out}} * e^{-\frac{(T_{in} - \frac{T_{m,out}}{0.0401 T_{m,out} + 0.0774})^2}{(\frac{\sqrt{2} \sigma_{out}}{-1.484 \cdot LN(T_{m,out}/\sigma_{out}) + 3.652})^2}}$$

Con:

$$E_{daily,T_{in}} = \left(\frac{E_{daily,32^\circ C} - E_{daily,16^\circ C}}{16} \right) T_{in} + 2E_{daily,16^\circ C} - E_{daily,32^\circ C}$$

$$E_{daily,16^\circ C} = 24 \left(P_{SS,16^\circ C} + \frac{\Delta E_{df,16^\circ C}}{t_{df,16^\circ C}} \right) + \Delta E_{additional,16^\circ C}$$

$$E_{daily,32^\circ C} = 24 \left(P_{SS,32^\circ C} + \frac{\Delta E_{df,32^\circ C}}{t_{df,32^\circ C}} \right) + \Delta E_{additional,32^\circ C}$$

Da notare che in questa nuova formulazione, si è deciso di semplificare la trattazione del contributo $\Delta E_{additional}$ (inglobato nel calcolo del consumo giornaliero), considerando che tutti i giorni dell'anno siano caratterizzati dalla stessa massa di carico refrigerata/surgelata, ottenibile per esempio come media di una settimana tipo.

⁸ Semplificazione che risulta plausibile se si considerano i risultati ottenuti negli studi di Meier (1995) [8], Saidur (2002) [9] e Geppert (2013) [10].

3.7 Confronto con lo standard EN 153

Volendo fornire una prima applicazione del metodo precedentemente descritto e ottenere un confronto con la metodologia vigente (EN 153 [3]) in termini di consumi energetici annuali, si sono utilizzati i risultati dei test condotti in modalità di funzionamento Mod1 (la più energivora) per calcolare il consumo annuale IEC del campione oggetto di misura in diversi contesti climatici europei.

Per limitare l'analisi si sono considerati i gradi giorno invernali (HDD) ed estivi (CDD), calcolati su base 18°C, delle principali città della zona EU (Figura 31) per selezionare 8 contesti chiave, identificativi delle diverse condizioni climatiche europee: Siviglia, Roma, La Coruna, Milano, Parigi, Copenaghen, Praga ed Helsinki.

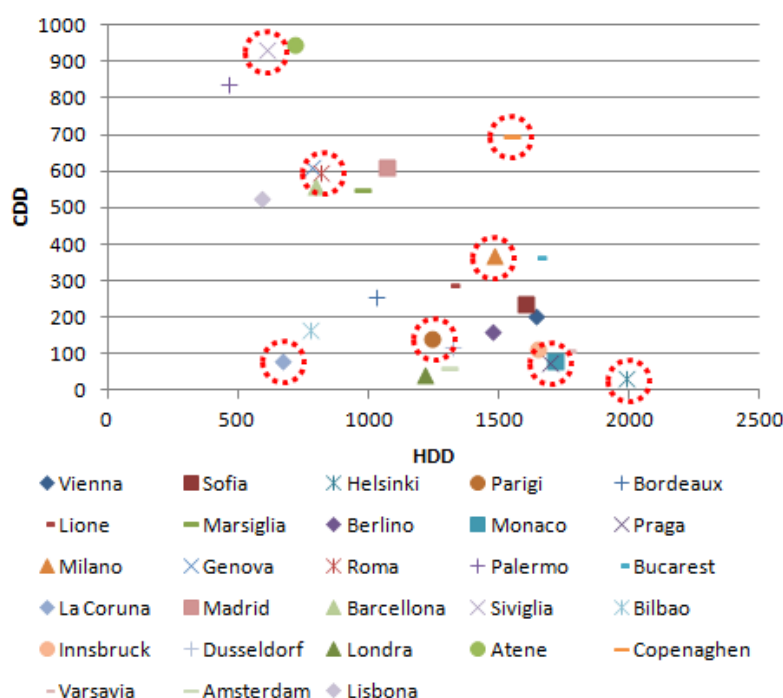


Figura 31. Selezione di contesti climatici chiave nell'area EU.

Per quanto concerne l'entità dei carichi processati, dato difficilmente desumibile dai dati bibliografici e statistici disponibili, si è deciso di considerare 3 alternative: i) carico assente; ii) Carico 1, pari a 3 kg di acqua nel vano cibi-freschi e 0.3 kg in quello a bassa T (il medesimo carico delle prove *Load*); iii) Carico 2, pari al precedente per 5 giorni della settimana-tipo, raddoppiato in un giorno e triplicato nel restante, per simulare i carichi aggiuntivi dovuti a due spese (di diversa entità) settimanali (Figura 32).

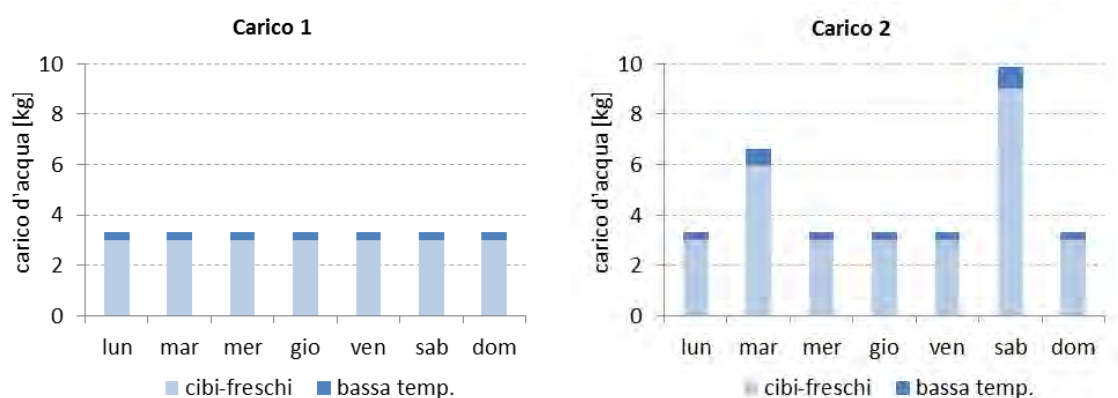


Figura 32. Carichi considerati nel calcolo del consumo energetico annuale.

Per diversi i contesti considerati sono stati ottenuti i consumi annuali riportati nella seguente tabella, da cui appare evidente:

- l'influenza della connotazione regionale del calcolo, con una variazione tra minimo (per Helsinki) e massimo (per Siviglia) del 27%;
- il peso (fino al 7%) che può ricoprire la scelta del carico medio giornaliero refrigerato e surgelato.

Tabella 25. Consumi annui calcolati per i contesti chiave e i diversi livelli di carico considerati.

Città	Consumo annuo [kWh/anno]		
	Senza carico	Carico 1	Carico 2
Siviglia	509.86	536.62	548.09
Roma	501.83	528.14	539.41
La Coruna	494.85	520.78	531.89
Milano	478.07	503.06	513.78
Parigi	478.02	503.02	513.73
Copenaghen	453.21	476.83	486.95
Praga	450.53	474.00	484.06
Helsinki	402.83	423.66	432.59

Tale risultato può essere ora confrontato con quello ottenuto, sullo stesso apparecchio e nel medesimo laboratorio, applicando il metodo di misura vigente (EN 153 [3]). Come desumibile dal rapporto di prova riportato di seguito, esso risulta pari a 441.25 kWh annui e quindi in linea con i risultati (minimi) ottenuti applicando il nuovo approccio IEC in contesti centro-nord europei (Praga, Copenaghen) e in assenza di carico. Nel contesto italiano di Roma, si registra invece una differenza tra i due approcci del 14-22%, in funzione dell'entità del carico.

Da notare che ciò è anche dovuto alla significativa differenza registrata sui consumi giornalieri: il dato da vigente procedura (1209 Wh) risulta infatti minore del 27% rispetto all'interpolazione a 25°C (T_{amb} considerata nel metodo EN 153 [3]) dei risultati IEC a 16-32°C. Ciò può essere dovuto alla diversa regolazione del vano cibi-freschi (IEC riduce il *target* da +5°C a +4°C) e alla diversa operazione di interpolazione proposta dai due metodi, ma soprattutto all'ottimizzazione di prodotto (in linea con la normativa vigente) di cui è figlio il campione oggetto di prova.

Tabella 26. Rapporto di misura secondo procedura EN 153 [3] sull'apparecchio oggetto di analisi.

Variabile	Prova 1	Prova 2	UdM
durata ciclo	30:17:00	30:23:00	-
Tamb	24.81	24.81	°C
Tma	4.14	5.62	°C
Tpmax Tp01	-19.21	-19.05	°C
Pot media	51.57	49.51	Wh
Cons 24h	1237.6	1188.26	Wh
Cons annuo	451.72	433.72	kWh
Consumo giornaliero =		1208.9	Wh
Consumo annuo =		441.25	kWh

4 Conclusioni

Le prove di misura descritte nel presente rapporto rappresentano una delle prime applicazioni, condotta al di fuori del gruppo di lavoro che lo ha sviluppato, della nuova procedura delineata dalla proposta di standard prIEC 62552 ed2 (2013) [1].

I risultati ottenuti pongono alcune basi per fornire – presso gli opportuni tavoli di dibattito, revisione e recepimento – un inquadramento del metodo, il riconoscimento delle sue principali criticità di applicazione e delle proposte di affinamento.

A livello generale si individua come strategica la volontà, da cui è scaturita la proposta, di uniformare i diversi schemi di etichettatura e controllo, nati e sviluppati nell'ultimo ventennio nelle diverse regioni mondiali, e si ritiene interessante l'architettura metodologica del nuovo approccio, basato sulla quantificazione dei singoli contributi che concorrono al consumo energetico di un apparecchio per la refrigerazione domestica. In particolare, verso l'obiettivo di avvicinare la misura standardizzata alle prestazioni reali di tali elettrodomestici, si giudica rilevante l'idea di interpolare i risultati a livello locale/regionale e l'introduzione di una prova specifica per la quantificazione del consumo relativo all'inserimento di un carico da refrigerare e surgelare (con concomitante apertura degli sportelli).

D'altra parte si rileva come potenzialmente critica la scelta di rimuovere (rispetto ai metodi precedenti) il carico congelato (e stabilizzato) nei vani a bassa temperatura, durante le prove di consumo. Essa introduce alcune criticità pratiche, legate alla più complessa strumentazione (con sensori in cilindri di rame) di tali scomparti, un importante scostamento metodologico, che limita l'auspicabile continuità con gli standard vigenti e, non ultimo, il rischio di slegare la prestazione energetica di un apparecchio con la sua capacità di mantenere di un carico congelato.

Tra le criticità applicative rilevate, si segnala anche che, fra le numerose condizioni di accettabilità delle misure proposte dalla nuova procedura, quella sullo scostamento massimo (1 W e/o 2%) tra le potenze medie relative ai due periodi che precedono due cicli consecutivi di sbrinamento è risultata, nell'esperienza qui descritta, di difficile recepimento. In attesa di ulteriori prove (anche con differenti campioni) si rileva come plausibile la possibilità di incrementare tale limite a 2 W e/o 4%.

Per quanto concerne l'ulteriore sviluppo del metodo, infine, si è qui proposto un contributo originale per il miglioramento e completamento del calcolo del consumo energetico annuale su scala locale/regionale, che, applicando la filosofia generale della nuova procedura, permette un confronto quantitativo con i precedenti, ancora vigenti, standard di misura.

Considerando di cruciale importanza che lo sviluppo di questo nuovo standard di riferimento sia il più possibile consapevole e che ogni sua implicazione (anche sugli attuali strumenti di regolamentazione nazionale e internazionale) sia attentamente valutata, risultano necessari ulteriori analisi e ulteriori esperienze applicative, in grado di produrre un significativo campione di dati su cui valutare le scelte prese e testare possibili revisioni e miglioramenti.

5 Riferimenti bibliografici

- [1] prIEC 62552 ed2 (2013), "Household refrigerating appliances - Characteristics and test methods", IEC, Data di diffusione: 2013-05-10.
- [2] ISO 15502:2005, "Household refrigerating appliances - Characteristics and test methods", ISO 2005.
- [3] UNI EN 153:2006, "Metodi di misurazione del consumo di energia elettrica e delle caratteristiche associate dei frigoriferi, conservatori e congelatori di utilizzo domestico e loro combinazioni", UNI 2006.
- [4] Preparatory studies for Eco-design Requirements of EuPs (Tender TREN/D1/40-2005) – Lot 13: Refrigerators & Freezers – Task 3: "Economic and market Analysis. Consumer Behaviour and local infrastructure".
- [5] EnergyPlusTM, "EnergyPlus Engineering Reference - The Reference to EnergyPlus Calculations", Date: October 1, 2013, University of Illinois or the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [6] EN 15251:2007, "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics", EN 2007.
- [7] ASHRAE 2001, "International Weather for Energy Calculations (IWECC Weather Files)", Users Manual and CD-ROM, Atlanta: ASHRAE
- [8] A. Meier, "Refrigerator energy use in the laboratory and in the field", Energy Build 1995; 22:233–43.
- [9] R. Saidur et Al., "Role of ambient temperature, door opening, thermostat setting position and their combined effect on refrigerator-freezer energy consumption", Energy Conversion and Management 43 (2002) 845–854.
- [10] J. Geppert, R. Stamminger, "Analysis of effecting factors on domestic refrigerators' energy consumption in use", Energy Conversion and Management 76 (2013) 794–800.