



Progetto: LOGICA
Laboratorio Tecnologico della Logistica in Calabria
Laboratorio di Cosenza

Modulo Realizzativo MR5-FISTEC
*Applicazione di altre tecnologie a supporto dei processi logistici e della
trasformazione*

Obiettivo Realizzativo OR5-ALTRO-FISTEC
Tecnologie per la climatizzazione di magazzini frigoriferi

Rapporto Tecnico

**POTENZIALITÀ DI UNA SORGENTE TERMICA A
BASSA TEMPERATURA**

A cura di Prof. Giuseppe Oliveti, Prof. Natale Arcuri, Roberto Bruno, Ph.D. ⁽¹⁾

20 Dicembre 2006

Codice: RT.OR5.ALTRO.FISTEC/1

⁽¹⁾ Dipartimento di Meccanica, Università della Calabria, 87036 Rende (CS).

INDICE

1. Situazione del metano in Italia _____	3
2. Il rigassificatore di Gioia Tauro _____	4
3. Principali metodi di impiego della sorgente fredda _____	5
4. Impieghi della sorgente fredda nella conservazione degli alimenti _____	7
5. Condizioni climatiche richieste per la conservazione delle derrate alimentari _____	8
6. Stima dei carichi termici da abbattere per alimenti refrigerati, congelati e surgelati _____	9
7. Stima dei carichi interni e delle condizioni termoigrometriche della portata di aria di immissione per vari tipi di prodotti _____	16
7.1. <i>Caso studio 1: conservazione delle mele</i> _____	17
7.2. <i>Caso studio 2: conservazione della lattuga</i> _____	19
7.3. <i>Caso studio 3: conservazione della carne congelata</i> _____	20
7.4. <i>Caso studio 4: conservazione del pesce surgelato</i> _____	21
8. Conclusioni _____	22

1. Situazione del metano in Italia

La maggior parte del metano utilizzato in Italia è fornito da una rete di gasdotti provenienti dalla Russia, dalla Tunisia, dall'Algeria e dall'Olanda; una piccola parte proviene dall'impianto di rigassificazione di Panigaglia (SP), attualmente unico operativo sul territorio nazionale. Tale impianto immette metano gassoso nella rete a seguito del processo di rigassificazione del metano liquido (GNL, Gas Naturale Liquefatto), trasportato mediante navi particolari denominate "metaniere". Il metano in fase liquida occupa un volume che è circa 600 volte inferiore rispetto al metano gassoso, nelle stesse condizioni di pressione e temperatura. Per ottenere metano in fase liquida alla pressione atmosferica è necessario raffreddarlo fino ad una temperatura di circa -161°C. Il processo di rigassificazione è ottenuto mediante riscaldamento a pressione costante che impiega una portata di un fluido più caldo, generalmente riscaldato per mezzo della combustione di una portata spillata dello stesso metano rigassificato. L'impianto di rigassificazione di Panigaglia utilizza due serbatoi di stoccaggio da 50.000 m³, attualmente utilizzato al 100% della sua potenzialità, è stato realizzato nel 1971 e ha immesso in rete complessivamente fino ad oggi 3,36 miliardi di m³.

I vantaggi che derivano dal trasporto "via mare" del GNL sono molteplici:

1. possibilità di fruire di una più ampia disposizione geopolitica di paesi fornitori;
2. minor dipendenza dai paesi che operano in regime di oligopolio;
3. possibile accesso al mercato a breve termine (spot).

Tali presupposti sono di rilevante importanza se si pensa che l'Italia, ad oggi, rappresenta uno dei maggiori consumatori di metano a livello internazionale. Infatti, dal 1996 al 2000 il consumo è cresciuto da 56,2 miliardi di m³ a circa 70,4 miliardi di m³, aumento dovuto principalmente all'impiego del metano come fonte di energia primaria nel settore della generazione termoelettrica. Attualmente si stima un incremento annuo del consumo pari al 5,8%. Il mercato italiano si colloca al terzo posto in Europa in termini di domanda (71 miliardi di m³ nel 2001) con prospettive di crescita stimate in 22 miliardi di m³ nel periodo 2000-2010, maggiori rispetto a quelle di qualsiasi altro paese europeo.

2. Il rigassificatore di Gioia Tauro

Attualmente in Italia sono stati progettati 7 nuovi impianti di rigassificazione in attesa di autorizzazione; tra questi, particolare importanza riveste il terminal di rigassificazione di Gioia Tauro, per il quale è prevista a regime una capacità di rigassificazione annua di $12 \cdot 10^9$ standard m^3 (Sm^3), equivalenti a $11,3 \cdot 10^9$ normal m^3 (Nm^3), corrispondenti ad una massa di $8,1 \cdot 10^6$ tonnellate annue di metano. Il volume di GNL occupato in un anno è di $18,85 \cdot 10^6$ di m^3 . Pertanto ogni mese, a regime, l'impianto sarà interessato dal transito di circa $1,57 \cdot 10^6$ di m^3 di GNL. Tali cifre impongono l'attracco mensile di almeno 10 metaniere dalla capacità di carico di 150000 m^3 ; in tal caso, occorre fruire di una capacità di stoccaggio di 450000 m^3 . Nel caso ideale di sfruttamento dell'intero salto entalpico disponibile (vedi Fig. 1) tra il liquido saturo alla pressione atmosferica e alla temperatura di $-161^\circ C$ e il vapore surriscaldato alla temperatura di $20^\circ C$ e alla pressione della rete di distribuzione di 90 bar, l'energia ottenibile è pari a 220 kWh per ogni tonnellata di GNL rigassificato. Nel caso specifico di Gioia Tauro, l'energia mensile potenzialmente disponibile è pari a 148 GWh, e quella annuale a 1776 GWh.

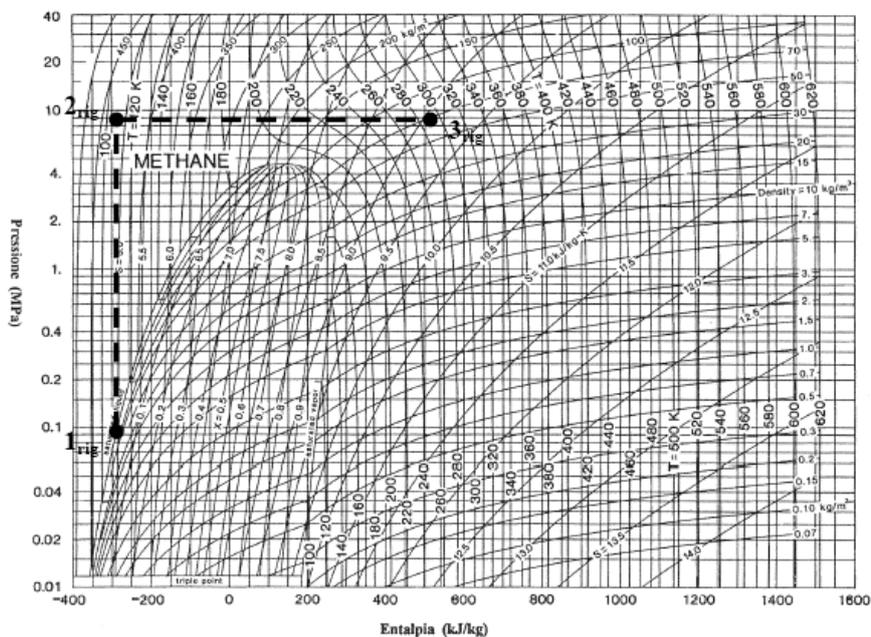


Fig. 1 :

Trasformazione di rigassificazione del GNL in fase gassosa nel relativo diagramma di stato.

3. Principali metodi di impiego della sorgente fredda

Molteplici sono le modalità di impiego del GNL come sorgente fredda:

1. separazione per distillazione dei vari componenti dell'aria per ottenere O₂, N₂ e CO₂ liquidi;
2. elettronica di precisione (freddo necessario per i superconduttori);
3. generazione di potenza con impianti turbogas a compressione interrefrigerazione dell'aria per la produzione di energia elettrica;
4. generazione di energia elettrica mediante cicli termodinamici che utilizzano direttamente il GNL;
5. conservazione degli alimenti;
6. condizionamento dell'aria.

Nelle applicazioni precedenti, la sorgente fredda è a temperatura via via crescente e l'impiego simultaneo dei diversi processi, consistente nell'impiego come sorgente nel processo successivo del calore ceduto nel processo precedente, origina quella che tecnicamente è definita "catena del freddo". Esiste una sub-catena del freddo relativa alla sola conservazione delle derrate alimentari: si parte dai surgelati (campo di temperature da -18°C a -30°C), per passare ai congelati (-1°C÷-18°C) fino alla refrigerazione (-1°C÷13°C), tenendo in considerazione che non sempre sono le derrate alimentari che hanno bisogno delle basse temperature, ma anche altri tipi di prodotti, come ad esempio i medicinali.

La ricerca in oggetto ha come scopo l'impiego della sorgente fredda per la climatizzazione di ambienti destinati alla conservazione dei prodotti, in particolare quelli alimentari. In molti terminal portuali, il trasporto di derrate alimentari come frutta, verdura e ortaggi, o di derrate alimentari congelate o surgelate, è ottenuto mediante containers refrigerati. Tali containers sono equipaggiati con comuni unità di trattamento dell'aria (in gergo "reefer containers", Fig. 2) alimentate da energia elettrica. In altri casi sono presenti delle opportune aperture laterali (in tal caso si parla di "porthole containers", Fig. 3) per il convogliamento di determinate portate di aria in condizioni termoigrometriche opportune. Queste portate di aria sono ottenute mediante comuni unità di trattamento dell'aria esterne al container alimentate da energia elettrica e posizionate all'interno degli stessi terminal portuali o sulle navi porta-containers. Per entrambe le tipologie di containers i casi spetta alla portata d'aria rimuovere i carichi sensibili e latenti e mantenere, in tal modo, le condizioni richieste all'interno. La Fig. 4 mostra il percorso dell'aria all'interno dei containers: l'aria fredda viene fornita dal basso e, grazie ad un preciso sistema di distribuzione nel

pavimento del container, risale asportando i carichi sensibili e latenti. A seguito dell'asportazione dei carichi l'aria diventa più calda e fuoriesce dalla parte superiore del container. Si noti come da un punto di vista logistico i "porthole" containers offrono maggiori vantaggi rispetto ai "reefer": lo spazio interno sfruttabile è maggiore a seguito della mancanza dell'unità di trattamento dell'aria che richiede di un apposito spazio per i "reefer" containers.



Fig. 2 : Container tradizionale refrigerato



Fig. 3: "Porthole" container

Una alternativa interessante è quella di utilizzare un fluido freddo prodotto mediante la rigassificazione del GNL per ottenere una portata di aria nelle condizioni richieste per la conservazione delle derrate alimentari nei containers di tipo "Porthole". Ciò è ottenibile mediante una rete di teleraffreddamento e delle sottocentrali in ciascuna delle quali viene prodotta una portata d'aria in condizioni diverse per asportare i carichi sensibili e latenti richiesti per la conservazione delle derrate alimentari allocate nei containers.

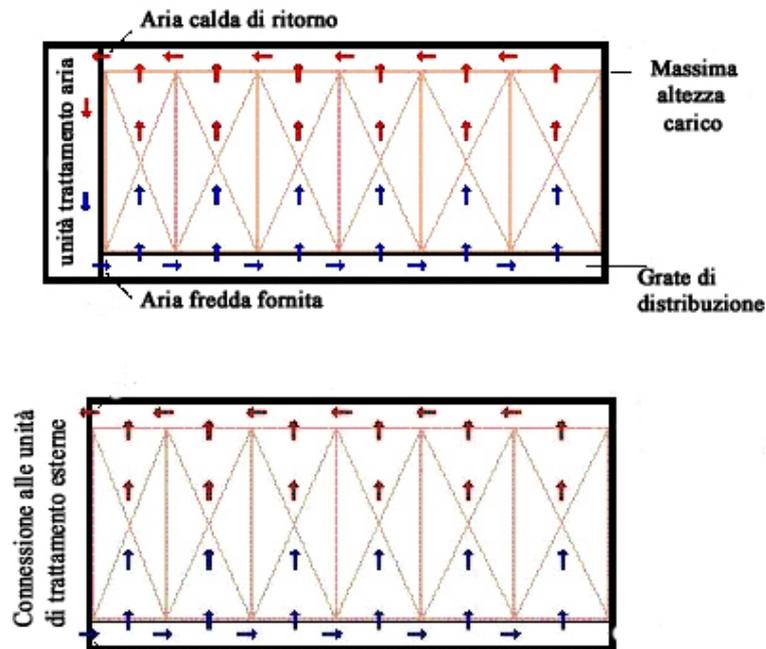


Fig. 4 : Distribuzione dell'aria di immissione all'interno di "Porthole" e "Reefer" containers.

4. Impieghi della sorgente fredda nella conservazione degli alimenti

Generalmente si possono distinguere tre metodi di conservazione che impiegano il freddo:

- Refrigerazione: avviene da -1°C a $+13^{\circ}\text{C}$, e' una tecnica indicata quando si vuole conservare la freschezza naturale dei cibi, necessaria per la conservazione di alimenti quali la frutta, la verdura e gli ortaggi; a temperature più basse l'acqua, che rappresenta comunque il principale componente di questo tipo di prodotti, congela arrecando danni al prodotto stesso;
- Congelamento: è il sistema di conservazione usato nelle utenze domestico che permette di portare e mantenere gli alimenti a temperature comprese tra -1°C e -18°C . Può essere impiegata per periodi medio-lunghi ma è indicata solo per determinati tipi di prodotti; i cristalli di ghiaccio che si formano per effetto del congelamento rompono le pareti delle cellule e provocano danni alla struttura biologica dei cibi;
- Surgelazione: è il miglior metodo fisico di conservazione degli alimenti. Le moderne tecnologie adottate a livello industriale portano il prodotto a raggiungere temperature fino a

-30 °C in tempi compresi fra 3 e 40 minuti. La rapidità con cui avviene il processo di surgelazione evita il danneggiamento dei cibi per cui, a livello qualitativo, è senz'altro il miglior metodo di conservazione.

5. Condizioni climatiche richieste per la conservazione delle derrate alimentari

Per mantenere la freschezza e la durata nel tempo di derrate alimentari come frutta e ortaggi occorre, durante il periodo di conservazione, non solo regolare in modo stabile la temperatura dell'aria all'interno dei container ma anche l'umidità relativa. La formazione di condensa o l'eccessiva evaporazione di acqua dai prodotti, infatti, può provocare danni considerevoli. Generalmente, ogni alimento necessita di una determinata temperatura e umidità di conservazione, chiamate "temperatura di progetto" e "umidità relativa di progetto". Per la frutta sovente è richiesta anche una certa portata di rinnovo dell'aria, avente la finalità di smaltire gas quali l'etilene e l'anidride carbonica, che si formano per effetto dell'attività metabolica del prodotto. Tale attività accelera notevolmente il processo di maturazione e, conseguentemente, porta al rapido deterioramento del prodotto. Molta attenzione riveste il sistema di controllo, che deve assicurare le condizioni termoigrometriche richieste all'aria in ingresso per la climatizzazione del container, e garantire anche i giusti ricambi d'aria. Inoltre occorre assicurare che la temperatura non scenda mai al di sotto del punto di congelamento, al fine di evitare danni al prodotto per effetto della formazione di cristalli di ghiaccio all'interno. Tale pericolo, ovviamente, non sussiste per i prodotti congelati e surgelati, dove tra l'altro non è necessario effettuare il controllo dell'umidità relativa.

La tab. 1 che segue evidenzia le caratteristiche di conservazione richieste per la frutta e la verdura (Fonte: ASHRAE HANDBOOK 2002 – "REFRIGERATION"). Ad esempio, mantenendo un carico di mele con temperature comprese tra -1°C e 4,4 °C con un'umidità relativa dell'87,5% è possibile conservarle per un periodo compreso tra i 30 e 365 giorni. Ciò richiede una portata di ricambio di aria pari a 25 m³ per ora. Le banane, al contrario, si conservano a 13°C con una umidità relativa del 90% e richiedono una portata di rinnovo di 50 m³ all'ora. Tali condizioni assicurano un periodo di conservazione di 28 giorni.

Nella Tab. 1 sono anche elencati i valori della temperatura tollerabili per brevi periodi senza che i prodotti subiscano danneggiamenti. Questa informazione è di sicuro interesse durante le operazioni di sbarco e di imbarco dai terminal portuali. La Tab. 2 riporta le stesse informazioni per prodotti congelati e surgelati, come la carne ed il pesce; in tal caso non è necessario mantenere

l'umidità relativa di progetto e i ricambi di aria richiesti. Importanti sono le informazioni relative al massimo numero di ore tollerabili dal prodotto nel caso in cui la temperatura è maggiore rispetto a quella di progetto.

6. Stima dei carichi termici da abbattere per alimenti refrigerati, congelati e surgelati

Per la conservazione di un determinato tipo di prodotto, in base a quanto descritto precedentemente, è importante conoscere le condizioni climatiche interne al container espresse dalla temperatura e dell'umidità relativa dell'aria, e la portata di rinnovo richiesta. I carichi termici da sportare dipendono dalle condizioni climatiche esterne, dal tipo di container e dalla tipologia di carico.

Le condizioni climatiche esterne, individuate dalla temperatura dell'aria esterna e dall'irraggiamento solare, variano in modo significativo durante il trasporto di un container, per cui non sono di facile predizione. La potenza termica che si trasferisce per effetto della differenza di temperatura tra aria interna ed esterna dipende dalla trasmittanza termica delle pareti del container. Tali pareti sono costruite in acciaio e, per limitare le perdite di calore, sono dotate di uno strato isolante di spessore significativo (generalmente poliuretano espanso). La stratigrafia delle pareti dei containers isolati è generalmente standard, così come le loro dimensioni, sia per containers da 40 piedi che da 20 piedi.

Il container frigorifero è costituito da una struttura metallica realizzata con profili di varia forma, tamponata superiormente e per un certo tratto anche lateralmente da una lamiera d'acciaio. All'interno di questa struttura viene collocata la cella frigorifera attorno alla quale, per tre lati, si forma un'intercapedine d'aria avente uno spessore di 50 mm lateralmente, e di 100 mm superiormente. I pannelli costituenti la cella hanno una struttura a "sandwich" e sono realizzati con la tecnologia utilizzata nella costruzione dei cassoni isotermeici per autocarro.

Generalmente, le pareti laterali, quella di fondo ed il tetto hanno uno spessore di 120 mm e sono così costituiti:

► lo strato esterno ha uno spessore indicativo di 3 mm, è formato da uno strato di *gelcoat* (resina applicata per resistere meglio alle intemperie) su cui si appoggia uno strato di fibra di vetro impregnato di resina poliestere con valore di conducibilità termica di 0,2 W/m K;

► la parte interna è in poliuretano espanso PR / M135 autoestinguente avente classe di reazione al fuoco B2 – M1 secondo la norma DIN 4102, densità di (35 ± 2) kg/m³ e conducibilità termica di 0,021 W/m K;

► lo strato interno è identico a quello esterno.

Tab.1 : Temperatura di progetto, Temperatura massima consentita (per brevi periodi), Ricambi di aria, punto di congelamento, umidità relativa di progetto, contenuto d'acqua e giorni di conservazione per vari tipi di frutta e verdura.

Commodity/Name	(A) (Recommend) Set Temp		(B) (Allowable) Pulp Temp		(Recommend) Fresh Air Volume		(C) Highest Freezing Point		Suitable Relative Humidity (%)	Water Content of Cargo (%)	Post Harvest Live Days
	C	F	C	F	CMH	CFM	C	F			
Apples	-1-4.4	30-40	6.7	44	25	15	-1.5	29.3	87.5	84.1	30-365
Apricots	1.5	35	7.8	46	50	30	-1.1	30.1	87.5	85.4	7-21
Artichokes (Globe)	0	32	5	41	50	30	-1.2	29.9	95-100	83.7	14-21
Asparagus	1.5	35	5	41	75	45	-0.6	30.9	95	93	14-21
Avocados	8.0	46	15.6	60	50	30	-0.3	31.5	87.5	65.4	14-56
Bananas	13.0	56	13.9	57	50	30	-0.8	30.6	90	74.8	7-28
Beans (Green)	6.0	43	12.8	55	75	45	-0.7	30.7	92	88.9	7-10
Beans (Lima)	3.3	38	5.0	41	75	45	-0.6	31.0	95	66.5	5-7
Beer (Barrelled)	3.0	37	4.5	40	-	-	-2.2	28.0	-	90.2	-
Beets (Topped)	0	32	5.0	41	25	15	-1.1	30.1	95	87.6	28-56
Blackberries	1.0	34	6.7	44	25	15	-0.8	30.6	95	84.8	2-3
Blueberries	0	32	6.7	44	25	15	-1.3	29.7	92.5	82.3	14
Broccoli (Sproutings)	0	32	5.0	41	75	45	-0.6	30.9	95-100	89.9	10-14
Brussels Sprouts	0	32	5.0	41	75	45	-0.8	30.5	95-100	84.9	21-35
Cabbage (Late)	0	32	5.0	41	75	45	-0.9	30.4	92.5	92.4	21-42
Carrots (Mature)	0	32	6.7	44	25	15	-1.4	29.5	98-100	88.2	210-270
Casaba	8.5	47	18.8	66	0	0	-1.1	30.1	87.5	92.7	60-90
Cauliflower	0	32	5.0	41	75	45	-0.8	30.6	95	91.7	21-28
Celeriac	0	32	5.0	41	25	15	-0.9	30.4	92.5	88.3	180-240
Celery	0	32	5.0	41	75	45	-0.5	31.1	95	93.7	60-90
Cherries (Sour)	0	32	6.7	44	25	15	-1.8	29.0	92.5	83.7	3-7
Cherries (Sweet)	0	32	6.7	44	25	15	-1.8	29.0	92.5	80.4	14-21
Coconuts	1.0	34	7.8	46	0	0	-0.8	29.0	82.5	46.9	30-60
Coffee (Green)	2.0	36	5.0	41	0	0	-	-	82.5	13.0	-
Collards	1.0	34	5.0	41	75	45	-0.8	30.6	92.5	86.9	10-14
Corn (Sweet)	0	32	5.0	41	25	15	-0.6	30.9	92.5	73.9	5-8
Cranberries	2.0	36	9.0	48	25	15	-0.9	30.4	92.5	87.4	60-120
Cucumbers	10.0	50	15.5	60	75	45	-0.5	31.1	92.5	96.1	10-14
Curants	1.0	34	7.8	46	25	15	-1.0	30.2	92.5	84.7	7-28
Dates	0	32	7.8	46	25	15	-15.7	3.7	75	20.0	180-365
Dewberries	0	32	6.7	44	25	15	-1.3	29.7	92.5	94.5	2-3
Eggplant	10.0	50	18.5	65	25	15	-0.8	30.6	90	92.7	7
Endive (Escarole)	1.0	34	5.0	41	50	30	-0.1	31.9	92.5	93.3	14-21
Fig (Dried)	0	32	4.5	40	-	-	-	-	55	24.0	-
Fig (Fresh)	0	32	6.7	44	50	30	-2.4	27.6	87.5	78.0	7-10
Garlic (Dry)	0	32	7.8	46	25	15	-0.8	30.5	67.5	61.3	180-210
Gooseberries	1.0	34	7.8	46	25	15	-1.1	30.0	92.5	88.9	21-28
Grapefruit	12.8	55	15.5	60	50	30	-1.1	30.0	87.5	88.8	28-42
Grapes (Eur)	0	32	5.5	42	25	15	-2.1	28.1	92.5	81.6	30-180
Grapes (USA)	1.0	34	5.5	42	25	15	-1.2	29.7	87.5	81.9	14-56

Greens (Leafy)	1.0	34	5.0	41	75	45	-0.4	31.7	92.5	-	10-14
Guavas	5	41	15.5	60	50	30	-	-	90	83	14-21
Honeydew	5.0	41	15.5	60	25	15	-0.9	30.3	87.5	92.6	21
Leeks (Green)	1.0	34	5.0	41	50	30	-0.7	30.7	92.5	85.4	60-90
Lemons	12.8	55	15.5	60	75	45	-1.7	29.4	87.5	89.3	30-180
Lettuce	1.0	34	5.0	41	50	30	-0.4	31.7	95	94.8	14-21
Limes	11.0	52	13.9	57	75	45	-1.6	29.1	87.5	86.0	42-56
Logan Blackberries	0	32	6.7	44	25	15	-1.3	29.7	92.5	82.9	2-3
Mangoes	12.8	55	12.8	55	75	45	-0.9	30.3	87.5	81.4	14-21
Melons (Persian)	8.3	47	10.0	50	75	45	-0.8	30.5	87.5	92.7	14
Melons (Cantaloupe)	0-2.2	32-36	5.0	41	75	45	-1.2	29.9	87.5	92.0	5-14
Mushrooms	1.0	34	5.0	41	-	-	-0.9	30.4	90	91.1	3-4
Nectarines	1.0	34	7.8	46	75	45	-0.9	30.4	90	82.0	14-28
Nuts	1.0	34	10.0	50	-	-	-	-	70	4.5	120-900
Okura	10.0	50	12.8	50	50	30	-1.8	28.7	92.5	89.8	7-10
Onions (Dry)	1.0	34	5.0	41	50	30	-0.8	30.6	67.5	87.5	30-240
Onions (Green)	1.0	34	5.0	41	50	30	-0.9	30.4	92.5	89.4	21-28
Orange Juice (Chilled)	0	32	1.7	35	0	0	-	-	-	89.0	2
Oranges(CA &AZ)	5.6	42	7.2	45	75	45	-0.8	30.6	87.5	87.2	21-56
Oranges (FL &TX)	1.1	34	7.2	45	75	45	-0.8	30.6	87.5	87.2	21-56
Papayas	7.2	45	12.2	54	75	45	-0.9	30.4	87.5	90.8	7-21
Parsley	1.0	34	5	41	75	45	-1.1	30.0	92.5	85.1	60-65
Parsnips	1.0	34	5.0	41	75	45	-0.9	30.4	92.5	78.6	120-180
Peaches	1.0	34	6.7	44	75	45	-0.9	30.4	90	89.1	14-28
Pears	1.0	34	5.0	41	75	45	-1.6	29.2	92.5	82.7	60-120
Pears (Green)	1.0	34	5.0	41	75	45	-0.6	30.9	92.5	74.3	7-14
Pepper (Chile, Dry)	10.0	50	12.8	55	50	30	-0.7	30.7	65	12.0	180
Pepper (Chile, Sweet)	10.0	50	12.8	55	50	30	-0.7	30.7	92.5	92.4	14-21
Peppers (Sweet)	10.0	50	12.8	55	50	30	-0.7	30.7	92.5	92.4	14-21
Persimmons	1.1	34	1.1	34	75	45	-2.2	28.1	90	78.2	90-120
Pineapples (Green)	10.0	50	21	70	25	15	-1.0	30.2	87.5	-	14-28
Pineapples (Ripe)	7.2	45	10.0	50	25	15	-1.0	30.2	87.5	85.3	14-36
Plums	1.0	34	7.8	46	75	45	-0.8	30.5	92.5	82.3	14-35
Pomegranates	5.0	41	10.5	51	25	15	-3.0	26.6	90	82.0	60-90
Potatoes (Early Crop)	10.0	50	12.8	55	25	15	-0.6	30.9	90	81.2	10-14
Potatoes (Late Crop)	4.4	40	10.0	50	25	15	-0.6	30.9	90	77.8	150-300
Popcorn (Unpopped)	1.0	34	3.4	40	-	-	-	-	85	13.5	-
Pumpkins	12.2	54	21.1	70	-	-	-0.8	30.5	72.5	90.5	60-90
Quinces	1.0	34	6.7	44	75	45	-2.0	28.4	90	85.3	60-90
Radishes (Spring)	1.0	34	5.0	41	25	15	-0.7	30.7	92.5	93.6	21-28
Radishes (Winter)	1.0	34	5.0	41	25	15	-	-	92.5	93.6	60-120
Raspberries (Black)	1.0	34	7.8	46	25	15	-1.1	30.0	92.5	80.6	2-3
Raspberries (Red)	1.0	34	7.8	46	25	15	-0.6	30.9	92.5	84.1	2-3
Rhubarb	1.0	34	5.0	41	25	15	-0.9	30.3	95	94.9	14-28
Rutabagas	1.0	34	5.0	41	25	15	-1.1	30.1	92.5	89.1	120-180
Salsify	1.0	34	5.0	41	25	15	-1.1	30.1	92.5	79.1	60-120
Seed (Vegetable)	1.0	34	10.0	50	-	-	-	-	57.5	11.0	-

Spinach	1.0	34	5.0	41	25	15	-0.3	31.5	92.5	92.7	10-14
Squash (Summer)	10.0	50	15.6	60	50	30	-0.5	31.1	90	94.0	7-14
Squash (Winter)	12.2	54	18.3	65	0	0	-0.9	30.3	72.5	88.6	60-90
Strawberries	1.0	34	7.8	46	50	30	-0.8	30.6	92.5	89.9	5-7
Sweet Potatoes	13.3	56	18.9	66	0	0	-1.3	29.7	87.5	68.5	120-210
Tangerines	3.3	38	6.0	43	75	45	-1.1	30.1	87.5	87.3	14-28
Watermelons	10.0	50	12.8	55	0	0	-0.4	30.0	82.5	92.1	14-21

Nello strato intermedio sono collocate, ove necessario, piastre o profili in acciaio per realizzare i punti di ancoraggio dei cardini, delle staffe di chiusura e delle barre fermacarico; tali componenti sono posizionati in modo da non creare ponti termici. Il pavimento ha una costruzione analoga, ma tra lo strato di poliuretano e quello interno di vetroresina, viene interposto un pannello di legno di betulla dello spessore di 20 mm per consentire una migliore ripartizione delle sollecitazioni derivanti dal carico trasportato. Le due porte posteriori sono realizzate con una struttura identica a quella delle pareti laterali, ma sulla superficie esterna viene fissata una lamiera di acciaio di 0,6 mm di spessore per aumentarne la resistenza all'abrasione. E' buona norma realizzare le pareti dei containers refrigerati in modo che il valore della trasmittanza sia minore del valore $0,33 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. La potenza termica trasmessa all'esterno è influenzata anche dalla radiazione solare incidente (Fig. 5) la quale può condurre a temperature superficiali prossime ai 50°C nel caso di colorazione scura.

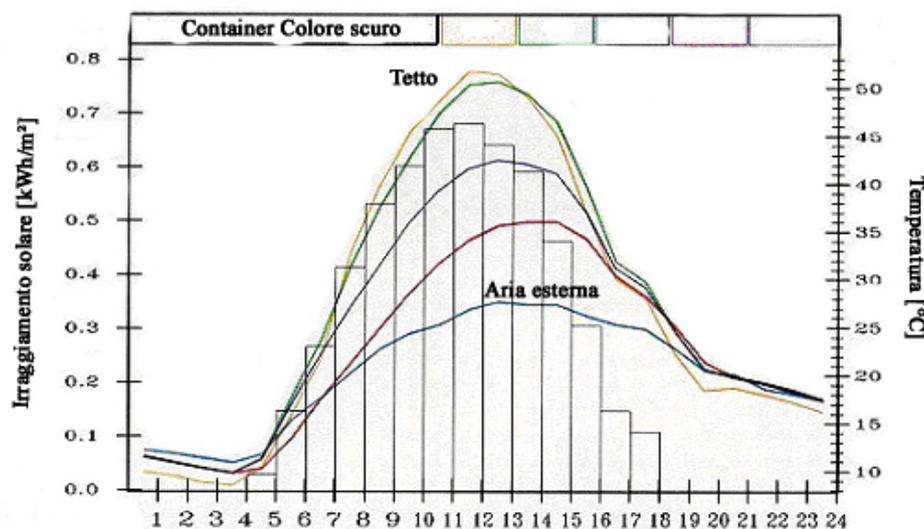


Fig. 5: Temperature delle varie pareti di un container di colore scuro e radiazione solare incidente.

Anche il vento e le precipitazioni contribuiscono a modificare in maniera sostanziale lo scambio termico tra l'ambiente interno ed esterno.

L'umidità relativa dell'aria interna di un container dipende principalmente dalle caratteristiche igroscopiche del prodotto; molto spesso si verifica il fenomeno della condensa del vapor acqueo con accumulo della fase liquida sul pavimento. L'aria esterna, che può entrare durante le operazioni di apertura e chiusura delle porte, generalmente non influisce negativamente sull'umidità interna.

Oltre ai carichi termici attraverso le pareti del container vanno anche considerati per la frutta e la verdura i carichi derivanti dalla loro attività metabolica. Infatti tali prodotti sono sottoposti a una vera e propria reazione chimica di combustione tra gli zuccheri in essi contenuti e l'ossigeno dell'aria. La reazione di ossidazione esotermica conseguente può essere così formulata:



La reazione di combustione dipende dalla temperatura, e la quantità di calore che si origina può essere determinata con la seguente relazione nella quale compaiono le caratteristiche del prodotto (attraverso i coefficienti "f" e "g") e la temperatura "t" (in °C):

$$W = \frac{10,7}{3600} \cdot f \cdot \left(\frac{9 \cdot t}{5} + 32 \right)^g = \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right]$$

I carichi latenti sono influenzati dal trasporto di umidità e dall'evaporazione di masse di acqua liquida presente sulla superficie dei prodotti. La perdita di acqua dipende dalla differenza tra la pressione di saturazione del vapor acqueo alla temperatura superficiale del prodotto e la pressione parziale del vapore del container. La quantità d'acqua evaporata è calcolabile dalla relazione:

$$\dot{m}_v = k_t \cdot (p_s - p_a) = \left[\frac{\text{mg}}{\text{s}} \right]$$

in cui "k_t" è il coefficiente di traspirazione (caratteristico del prodotto).

Tab. 2: Temperatura di conservazione, massima temperatura consentita, punto di congelamento, tempo tollerabile per temperature superiori a quelle di progetto, e giorni di conservazione per vari tipi di prodotti congelati o surgelati.

Commodity Name	(A) (Recommend) Set Temp		(B) (Allowable) Pulp Temp		(C) Highest Freezing Point		Allowable Time (Hour for Transit Without Gen Set)			Shelf Life Days
	C	F	C	F	C	F	Pulp Temp C	Ambient 30C/86F		
								20°	40°	
Beef:										
Carcass	0	32	5	41	-1.7	29	5	18.3	21.8	
Dried Chipped	5	41	10	50	-	-	10	21.6	25.7	
Fresh	0	32	5	41	-2.2	28	5	23.1	27.5	14-65
Frozen	-18	0	-15	5	-2.2	28	-15	4.5	5.4	
Livers, Fresh	0	32	5	41	-1.7	29	5	23.1	27.5	
Prime, 54% Lean	0	32	5	41	-2.2	28	5	17.4	20.7	
Lamb:										
Fresh	0	32	5	41	-2.2	28	5	21.9	26.1	14-65
Frozen	-18	0	-15	5	-2.2	28	-15	4.5	5.4	
Pork:										
Backfat, 100% Fat	0	32	5	41	-	-	5	9	10.7	
Bellies, 35% Lean	0	32	5	41	-	-	5	14.1	16.8	
Carcass, 45% Lean	0	32	5	41	-	-	5	15.6	18.6	
Fresh	0	32	5	41	-2.2	28	5	15.9	18.9	14-65
Frozen	-18	0	-15	5	-2.2	28	-15	3.7	4.4	
Shoulder, 67% Lean	0	32	5	41	-2.2	28	5	18.3	21.8	
Ham, 74% Lean	0	32	5	41	-1.7	29	5	19.8	23.6	
Ham, Frozen	-18	0	-15	5	-	-	-15	4.2	5	
Bacon, Med Fat	3	37	8	46	-	-	8	12.7	15.1	21-28
Sausage, Smoked	0	32	5	41	-3.9	25	5	18.6	22.1	21-28
Poultry:										
Chicken, Fresh	0	32	5	41	-2.7	27	5	24	28.6	14-65
Duck, Fresh	0	32	5	41	-2.7	27	5	22.8	27.1	14-65
Frozen	-18	0	-15	5	-	-	-15	3.8	4.6	
Turkey	0	32	5	41	-2.7	27	5	21.5	25.7	14-65
Rabbits:										
Fresh	0	32	5	41	-	-	5	22.2	26.4	
Frozen	-18	0	-15	5	-	-	-15	4.5	5.4	
Veal:										
Fresh	0	32	5	41	-0.1	31	5	21.3	25.4	14-65
Frozen	-18	0	-15	5	-0.1	31	-15	4.4	5.2	
Other:										
Beer, Keg	2	35	7	45	-2.2	28	7	29.6	35.2	

Bread	-18	0	-15	5	-	-	-15	3.8	4.6	
Honey	10	50	15	59	-	-	15	15.8	18.8	
Cheese:										
Cheddar	0	32	5	41	-13	8	5	15.6	18.6	
Cheddar	4	40	9	8	-13	8	9	18	21.4	
Cheddar, Processed	4	40	9	48	-7	19	9	17.3	20.6	
Cheddar, Grated	4	40	9	48	-	-	9	15.6	18.5	
Milk:										
Grade A	0	32	5	41	-0.1	31	5	27.9	33.2	
Evaporated	4	40	9	48	-1.4	29.5	9	27.4	32.6	
Condensed	4	40	9	48	-15	5	9	14.5	17.3	
Fish:										
Fresh	0	32	5	41	-2.2	28	5	23.4	27.9	
Frozen	-18	0	-15	5	-2.2	28	-15	4.6	5.5	120-240
Shellfish	0	32	5	41	-2.2	28	5	30.7	28.7	
Shellfish, Frozen	-18	0	-15	5	-2.2	28	-15	6	5.6	120-360
Shrimp	-20	-5	-17	1.4	-2.2	28	-17	5.7	5.3	

7. Stima dei carichi interni e delle condizioni termoigrometriche della portata di aria di immissione per vari tipi di prodotti

E' stata effettuata una stima della potenza termica occorrente nelle condizioni di progetto, e dell'energia frigorifera mensile richiesta in condizioni climatiche esterne di riferimento, per assicurare il microclima all'interno di un container richiesto per la conservazione del prodotto. A tal fine, è stato utilizzato un codice di calcolo dinamico (TRNSYS) che valuta in maniera dettagliata i vari termini che compaiono nelle equazioni di bilancio termico e di massa del vapor d'acqua del sistema container. Una caratteristica peculiare del software utilizzato è quella di considerare l'interazione tra i carichi termici del container e l'impianto di climatizzazione, aspetto fondamentale per determinare l'esatto comportamento transitorio dell'intero sistema. Le valutazioni sono relative ad un "Porthole" containers dalle dimensioni caratteristiche di 40 piedi (12 m circa, si veda Tab. 3) alimentato con una portata d'aria determinata in modo da asportare i carichi sensibili e latenti del container. La valutazione della potenza frigorifera di progetto è stata determinata considerando costanti tutti le forzanti esterne, ovvero si è posto la temperatura dell'area esterna pari a 34 °C e la potenza solare incidente pari a 500 W/m² su tutte le superfici esterne del container. I carichi interni sono stati determinati considerando differenti derrate alimentari: mele nel primo caso, lattuga nel secondo, carne congelata nel terzo e pesce surgelato nel quarto.

Tab. 3 : Dimensioni dei containers isolati

Porthole container: 40' lungo, 8'6" alto, con telaio in acciaio, pareti a sandwich								
Dimensioni Interne			Apertura Porte		Pesi			Volume [m ³]
Lunghezz a [mm]	Larghezz a [mm]	Massima Altezza Carico [mm]	Lungh. [mm]	Altezza [mm]	Lordo [kg]	Tara [kg]	Netto [kg]	
11840	2286	2120	2286	2195	30480	3850	26630	60,6

7.1. Caso studio 1: conservazione delle mele

Si è ipotizzato di avere un “Porthole” container che trasporta mele, con una capacità di carico di 26630 kg. I carichi sensibili e latenti sono pari rispettivamente a 20,4 mW/kg per effetto della respirazione e $1,8 \cdot 10^{-5}$ kg^V/(kg h) (portata di vapore per chilogrammo di prodotto) per effetto della traspirazione (fonte ASHRAE “HANDOBOK 2002 – Refrigeration”). Le condizioni dell’aria interna richieste per la conservazione sono: temperatura pari a 2,5°C e umidità relativa dell’87,5% (vedi Tab.1). Nelle condizioni di progetto previste, per mantenere i valori di temperatura e umidità prefissati, è necessaria una portata di aria ventilata di 70 Vol/h, pari a 1,12 m³/s, una temperatura dell’aria di immissione di 1 °C e una umidità relativa dell’aria di immissione del 95%. Il carico frigorifero richiesto è risultato pari a 2,06 kW.

Per la valutazione dei fabbisogni di energia frigorifera nei diversi mesi dell’anno, si sono considerati i dati climatici di Gioia Tauro. Nella Fig. 6 sono riportate le energie sensibili e latenti che occorre asportare mediante l’impianto di climatizzazione nei vari mesi dell’anno. Nella Fig.7 sono riportate le energie mensili richieste all’impianto di climatizzazione per asportare i carichi esterni e i carichi sensibili interni.

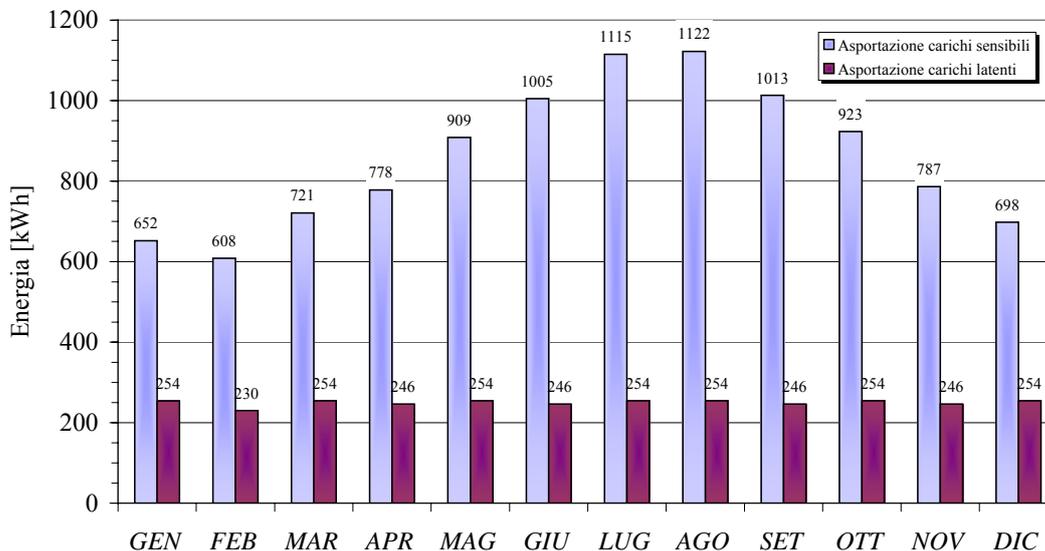
ENERGIE FRIGORIFERE RICHIESTE


Fig. 6: Conservazione delle mele: energia frigorifera richiesta per mantenere nel container le condizioni di progetto nei vari mesi dell'anno.

ENERGIE DEI CARICHI INTERNI ED ESTERNI


Fig. 7: Conservazione delle mele: energia frigorifera richiesta per abbattere i carichi sensibili interni ed esterni nei vari mesi dell'anno.

7.2. Caso studio 2: conservazione della lattuga

Il secondo caso studio riguarda la conservazione di un carico di lattuga. Secondo i dati riportati in Tab. 1 occorre creare all'interno del container un microclima con una temperatura di 1°C ed una umidità relativa del 95%. Questo tipo di prodotto produce per attività metabolica una potenza termica di 27,2 mW/kg e per traspirazione trasferisce una portata di vapore di $8,74 \cdot 10^{-4}$ kg^V/(kg h), ben superiore a quella dalle mele considerate nel caso precedente (fonte ASHRAE “HANDOBOOK 2002 – Refrigeration”). Un “porthole” container può contenere fino a 8700 kg di lattuga per effetto della più bassa densità del prodotto. Per ottenere le condizioni termoigrometriche richieste è necessaria una portata di aria di 124 Vol/h, pari a 1,98 m³/s, una temperatura di 0,25 °C, una umidità relativa del 77,5%. Il carico frigorifero sensibile necessario è di 1,813 kW.

Le energie frigorifere richieste nei vari mesi dell'anno sono riportate, in modo analogo al caso precedente, nelle Figg. 8 e 9.

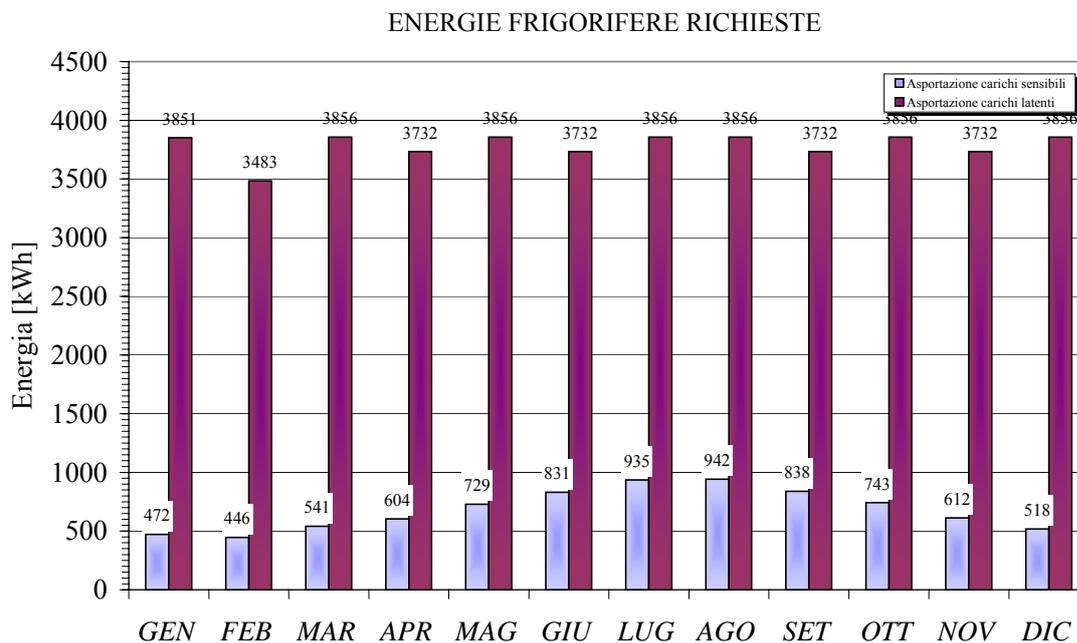


Fig. 8: Conservazione della lattuga: energia frigorifera richiesta per mantenere nel container le condizioni di progetto nei vari mesi dell'anno.

ENERGIE DEI CARICHI INTERNI ED ESTERNI

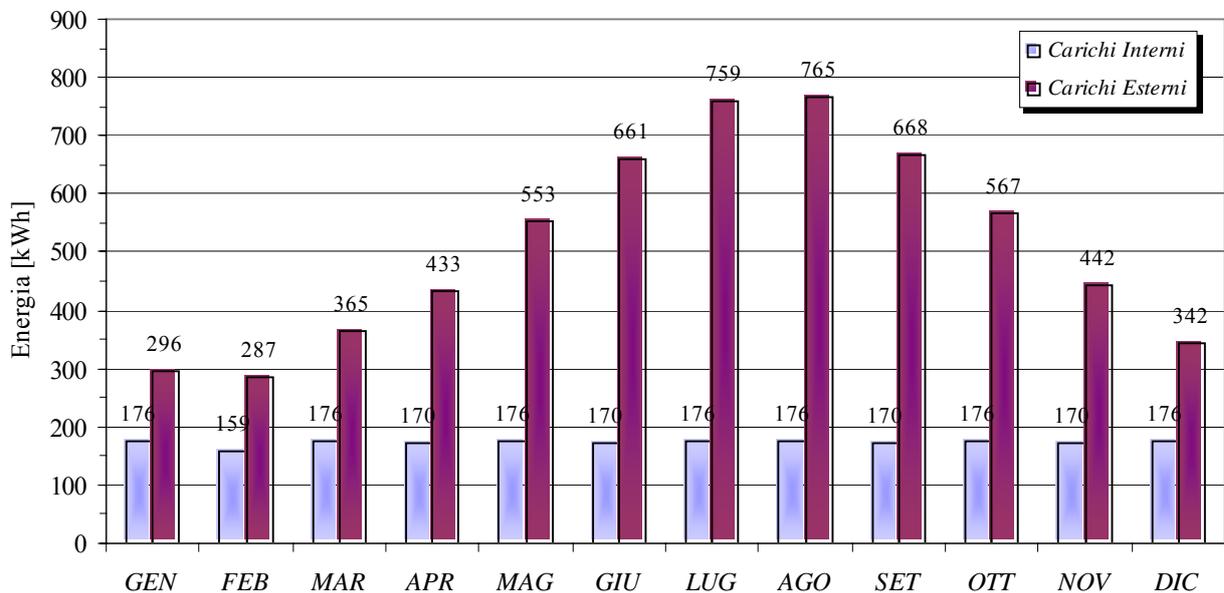


Fig. 9: Conservazione della lattuga: Energia frigorifera richiesta per abbattere i carichi sensibili interni ed esterni nei vari mesi dell'anno.

Si evince che per la lattuga la richiesta di energia frigorifera per abbattere i carichi latenti è maggiore rispetto alle mele, in virtù delle più elevate caratteristiche traspiranti dell'ortaggio. Al contrario, la minor massa di prodotto all'interno del container, determina una richiesta energia sensibile per abbattere i carichi interni minore del caso precedente.

7.3. Caso studio 3: conservazione della carne congelata

Questa tipologia di prodotto non richiede il controllo dell'umidità relativa interna nel container, per cui si limita l'analisi alla valutazione del carico sensibile necessario per il raggiungimento della temperatura interna di progetto. Per la carne congelata, a titolo di esempio carne di vitello, è richiesta una temperatura di congelamento di $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$; a tale temperatura il prodotto non emana calore per respirazione. Nelle condizioni di massimo carico, per ottenere le condizioni termoigrometriche richieste occorrono una portata di aria ventilata di 120 Vol/h, pari a $1,91\text{ m}^3/\text{s}$, e una temperatura di immissione di $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, fornendo un carico frigorifero sensibile di 2,300 kW.

L'energia mensile richiesta per il raggiungimento delle condizioni termoigrometriche interne è mostrata in Fig. 10 :

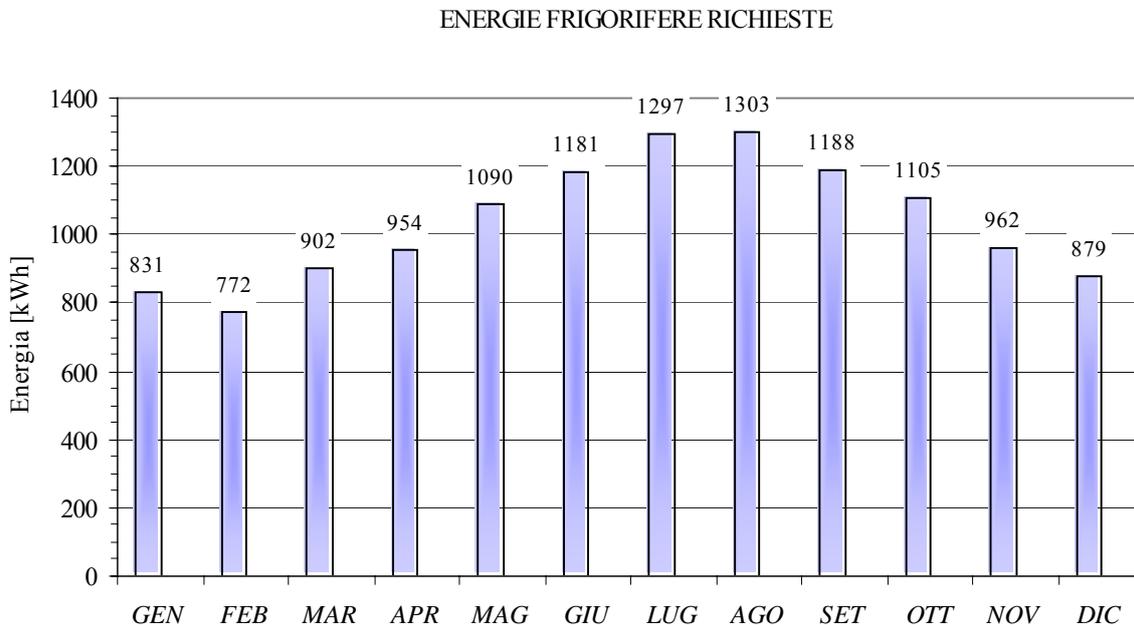


Fig. 10: Conservazione della carne: energia frigorifera richiesta per mantenere nel container la temperatura richiesta nei vari mesi dell'anno.

7.4. Caso studio 4: conservazione del pesce surgelato

Per il pesce surgelato è richiesta una temperatura di surgelamento di $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nelle condizioni di massimo carico, per ottenere le condizioni termoigrometriche desiderate occorre una portata di aria di 120 Vol/h, pari a $1,91\text{ m}^3/\text{s}$ circa, e una temperatura di immissione pari a $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, fornendo un carico frigorifero sensibile di 2,370 kW.

L'energia mensile richiesta per il raggiungimento delle condizioni termoigrometriche interne è mostrata in Fig. 11 :

ENERGIE FRIGORIFERE RICHIESTE

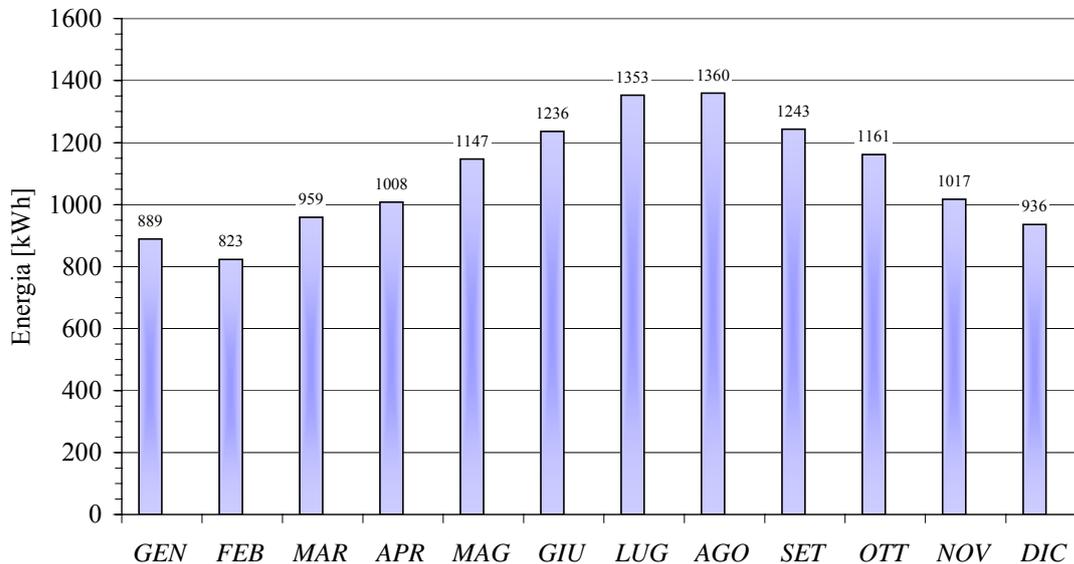


Fig. 11: Conservazione del pesce: energia frigorifera richiesta per mantenere nel container la temperatura richiesta nei vari mesi dell'anno.

8. Conclusioni

E' stata effettuata l'analisi termica di containers del tipo "Porthole" per il trasporto di prodotti alimentari refrigerati, congelati e surgelati. Mediante un codice dinamico di calcolo, con riferimento alle condizioni di progetto, si sono valutate le condizioni di temperatura e umidità della portata d'aria di ventilazione necessaria per la conservazione di prodotti refrigerati come mele e lattuga e i corrispondenti carichi frigoriferi da fornire. In particolare, per la conservazione delle mele, è necessario un carico frigorifero di 2,060 kW mentre per la conservazione della lattuga occorre un carico frigorifero di 1,813 kW. L'analisi è stata estesa anche alla conservazione di carne congelata e pesce surgelato, valutando, nelle condizioni di progetto, una potenza frigorifera richiesta pari rispettivamente a 2,300 kW e 2,370 kW. Infine, con riferimento alle condizioni climatiche di Gioia Tauro, sono state determinate le energie frigorifere mensili occorrenti per la conservazione dei prodotti considerati.