

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

ANALISI DEGLI EFFETTI DI INVECCHIAMENTO
DELLE CARATTERISTICHE TERMICHE
DI VEICOLI ISOLATI

Relatore: Ch.mo Prof. CLAUDIO ZILIO

Correlatore: Ing. STEFANO ROSSI

Laureando: ANDREA VESCO

Anno Accademico 2014-2015

“Secondo alcuni autorevoli testi di tecnica aeronautica, il calabrone non può volare, a causa della forma e del peso del proprio corpo in rapporto alla superficie alare. Ma il calabrone non lo sa e perciò continua a volare”

Igor Sikorsky

INDICE

Introduzione	1
CAPITOLO 1 – Accordo A.T.P.	3
1.1 Classificazione dei veicoli	3
1.2 Metodi e procedure di prova	4
1.2.1 Calcolo della temperatura interna (T_i) ed esterna (T_e)	5
1.2.2 Calcolo del coefficiente di scambio termico (K)	5
1.3 La normativa in Italia	6
CAPITOLO 2 – Invecchiamento delle pareti	9
2.1 Invecchiamento percentuale e coefficiente di invecchiamento	10
2.1.1 Coefficiente di trasmissione globale del calore teorico " $K_{teorico}$ "	10
2.1.2 Qualità costruttiva "QC"	11
2.1.3 Conduttività equivalente λ_{eq}	12
2.2 Interpretazione valori %INV e %CIA	13
CAPITOLO 3 – Cause dell'invecchiamento	15
3.1 Presenza del gruppo frigorifero	15
3.2 Presenza delle guidovie	17
3.3 Dimensioni del veicolo	19
3.3.1 Lunghezza interna	19
3.3.2 Rapporto superficie-volume	22
3.4 Presenza delle aperture	24
3.4.1 Perimetro complessivo delle aperture	24
3.4.2 Rapporto perimetro aperture e superficie interna	26
3.5 Spessore medio termico	28
3.6 Prodotti trasportati	29
3.7 Destinazione e uso	32
3.8 Costruttore	33
3.9 Piastre eutettiche	35
CAPITOLO 4 – Nuovi espandenti	37
Conclusioni	39
Bibliografia	41
Ringraziamenti	43

Introduzione

Con la vendita su vasta scala dei sistemi frigoriferi, a partire dal XX secolo, e la crescente necessità di garantire ai prodotti alimentari una vita e qualità maggiori, si è cercato negli anni di ottimizzare quel processo che comunemente viene denominato “*catena del freddo*”.

Con tale espressione si indica il percorso, dal produttore al consumatore, dei prodotti che necessitano di un regime a temperatura controllata, tra +10°C e -30°C, per mantenere inalterate le proprietà chimico-fisiche-organolettiche e sufficienti caratteristiche igienico-sanitarie.

La catena del freddo è principalmente formata da cinque anelli: produzione-lavorazione-imballaggio, magazzino frigorifero, trasporto, vendita (al dettaglio o all'ingrosso), consumatore-conservazione; tra i vari anelli possono esserci altri magazzini intermedi e successivi trasporti.

Anello, delicato, di questa catena è il trasporto. Quest'ultimo, nella maggior parte dei casi, viene effettuato su strada e, a questo scopo, vengono allestiti veicoli con particolari caratteristiche e/o accessori come pareti isolanti, gruppo frigorifero o piastre eutettiche, a seconda del prodotto e del regime di trasporto.

Considerato il ruolo fondamentale del trasporto in quest'ambito è interessante valutare il mantenimento delle proprietà isolanti delle casse per il trasporto di merci deperibili al fine di garantire al consumatore prodotti ad alti standard qualitativi.

Con il presente studio si vogliono determinare le principali cause del decadimento delle proprietà isolanti nel tempo, altrimenti detto *invecchiamento*, per i veicoli allestiti con struttura, fissa o amovibile, idonea al trasporto, in regime di temperatura controllata.

Si sono raccolti in esame 7867 prove eseguite, come richiesto da normativa internazionale A.T.P. (accordo internazionale per il trasporto di beni deperibili e sulle particolari dotazioni da utilizzare per tale trasporto), tra il 01 Gennaio 2004 e il 04 Luglio 2014 presso la sede del Consiglio Nazionale di Ricerca sito in Corso Stati Uniti, 4 a Padova.

I costruttori allestiscono le casse isolate sia in modo standard, sia a seconda delle specifiche richieste del cliente. Con l'obiettivo di valutare quali peculiarità costruttive comportino un maggior degrado delle proprietà isolanti, le prove sono state suddivise di volta in volta in funzione dello specifico parametro da valutare.

Dal 01 Gennaio 2003, a seguito dell'entrata in vigore di nuove normative volte a limitare l'utilizzo delle sostanze inquinanti, in particolare quelle considerate causa del

fenomeno denominato “buco dell’ozono”, agli allestitori è stato imposto l’utilizzo di un nuovo gas espandente, il ciclopentano, in sostituzione agli HCFC (idroclofluorocarburi) e CFC (clorofluorocarburi) utilizzati fino a quel momento. Per valutare l’effetto di questo cambiamento nell’ambito dei pannelli isolanti, oggetto di questo studio, si è posta l’attenzione sui veicoli messi in servizio prima e dopo il 2003.

CAPITOLO 1 – Accordo A.T.P.

L'accordo A.T.P., acronimo di *Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for such Carriage*, è un accordo internazionale relativo al trasporto di beni deperibili e alle particolari dotazioni da utilizzare per il suddetto trasporto. Esso è stato stipulato per la prima volta a Ginevra il 01 Settembre 1970 ed è entrato in vigore il 21 Novembre 1976.

Tale accordo si applica alle operazioni effettuate sul territorio di almeno due delle parti contraenti presenti in apposito elenco. Molti dei paesi contraenti, tra cui l'Italia, hanno adottato quest'ultimo come base per la legislazione nazionale.

La normativa A.T.P. viene aggiornata periodicamente, circa ogni anno, in funzione del progresso tecnico e degli accordi multilaterali tra i paesi contraenti.

In Italia tale accordo è stato recepito in via definitiva nel 1980.

1.1 Classificazione dei veicoli

L'allegato 1, appendice 1, dell'accordo, nella sua versione 2014, in vigore dal 13 Novembre 2014, suddivide i veicoli nelle categorie:

(a) Veicoli isothermici: veicoli allestiti con cassa costituita da pareti, porte, tetto e pavimento in materiale isolante, in grado di garantire una temperatura interna diversa da quella dell'ambiente esterno. Il coefficiente globale di scambio termico, di seguito chiamato K , rappresenta la potenza termica dispersa per unità di superficie per una differenza di un grado di temperatura. Esso è il fattore discriminante di questa categoria che viene suddivisa in veicoli:

- IN: isothermici normali $K \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- IR: isothermici rinforzati $K \leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

(b) Veicoli refrigerati: veicoli isothermici dotati di fonte di freddo (ghiaccio naturale, piastre eutettiche, ...) in grado di garantire il raggiungimento e il mantenimento per 12 ore, senza rifornimento alla fonte, una temperatura interna T_i , a seconda della classe di riferimento, con una temperatura esterna T_e di $+ 30^\circ\text{C}$; per alcune classi è necessario mantenere al di sotto di un certo valore il coefficiente (K).

- Classe A: $T_i = + 7^\circ\text{C}$
- Classe B: $T_i = - 10^\circ\text{C}$ $K \leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Classe C: $T_i = - 20^\circ\text{C}$ $K \leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

(c) Veicoli frigoriferi: veicoli isothermici dotati di dispositivo per la produzione del freddo in grado di garantire, tra un massimo e un minimo, il raggiungimento di una

temperatura interna T_i , a seconda della classe di riferimento, con una temperatura esterna T_e di + 30°C; per alcune classi è necessario mantenere al di sotto di un certo valore il coefficiente (K).

- Classe A: $0\text{ °C} \leq T_i \leq + 12\text{ °C}$
- Classe B: $- 10\text{ °C} \leq T_i \leq + 12\text{ °C}$ $K \leq 0,4\text{ W/m}^2\text{K}$
- Classe C: $- 20\text{ °C} \leq T_i \leq + 12\text{ °C}$ $K \leq 0,4\text{ W/m}^2\text{K}$
- Classe D: $T_i \leq + 2\text{ °C}$
- Classe E: $T_i \leq - 10\text{ °C}$ $K \leq 0,4\text{ W/m}^2\text{K}$
- Classe F: $T_i \leq - 20\text{ °C}$ $K \leq 0,4\text{ W/m}^2\text{K}$

(d) Veicoli calorifici: veicoli isotermici dotati di fonte di calore in grado di garantire il raggiungimento e il mantenimento per 12 ore, senza rifornimento alla fonte, una temperatura interna $T_i \geq + 12\text{ °C}$ con una temperatura esterna T_e , a seconda della classe del veicolo; per alcune classi è necessario mantenere al di sotto di un certo valore il coefficiente (K).

- Classe A: $T_e = - 10\text{ °C}$
- Classe B: $T_e = - 20\text{ °C}$ $K \leq 0,4\text{ W/m}^2\text{K}$

Le prove di omologazione, periodiche e straordinarie, devono essere eseguite presso centri designati e certificati all'interno del territorio della nazione ove il veicolo risulta immatricolato. Le prove periodiche devono essere eseguite ogni sei anni, tuttavia la legge italiana permette un rinnovo al sesto anno di età, con validità triennale, presso degli esperti, qualificati, distribuiti nel territorio. Questi ultimi non eseguono la prova del coefficiente di scambio termico K, descritta in seguito, ma si limitano alla verifica della efficienza frigorifera e dell'assenza di criticità strutturali.

1.2 Metodi e procedure di prova

Le prove, da cui si sono ricavati i dati in analisi, sono state eseguite presso i laboratori della sezione "Tecnica del Freddo" del Consiglio Nazionale Ricerca (C.N.R.) di Padova seguendo i metodi per la determinazione del coefficiente globale di scambio termico e sono normati come da allegato 1, appendice 2, dell'accordo ATP, di cui si riporta un estratto, utilizzando la tecnica del riscaldamento interno.

Il coefficiente globale di scambio termico (K) per i veicoli dotati di questi speciali allestimenti è definito dalla seguente relazione:

Equazione 1

$$K = \frac{W}{S \cdot \Delta T} \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

essendo W la potenza termica scambiata attraverso la parete [W], S è la superficie

della parete [m²], ΔT è la differenza (T_i - T_e) tra temperatura interna ed esterna [K].

La costanza della temperatura esterna T_e, nel tempo, risulta fondamentale per la prova.

La superficie S, da considerare, è quella data dalla media geometrica della superficie interna S_i e la superficie esterna S_e ricavata dall'equazione:

Equazione 2

$$S = \sqrt{S_i \cdot S_e}$$

1.2.1 Calcolo della temperatura interna (T_i) ed esterna (T_e)

Per il calcolo della temperatura (T_i) all'interno del parallelepipedo, che costituisce il vano di carico atto al trasporto, viene eseguita la media delle temperature rilevate in 12 punti diversi a 10 cm di distanza dalle pareti. Otto termometri devono essere posizionati in corrispondenza degli angoli e altri quattro al centro delle facce dello stesso.

Allo stesso modo per il calcolo della temperatura (T_e), all'esterno del parallelepipedo, devono essere posizionati altri 12 rilevatori in corrispondenza dei medesimi punti fuori dalle pareti, rispettando nuovamente i 10 cm di distanza dal punto di riferimento.

La temperatura media delle pareti (T_p) è definita come media aritmetica della temperatura esterna e interna, quindi:

Equazione 3
$$T_p = \frac{(T_e + T_i)}{2}$$

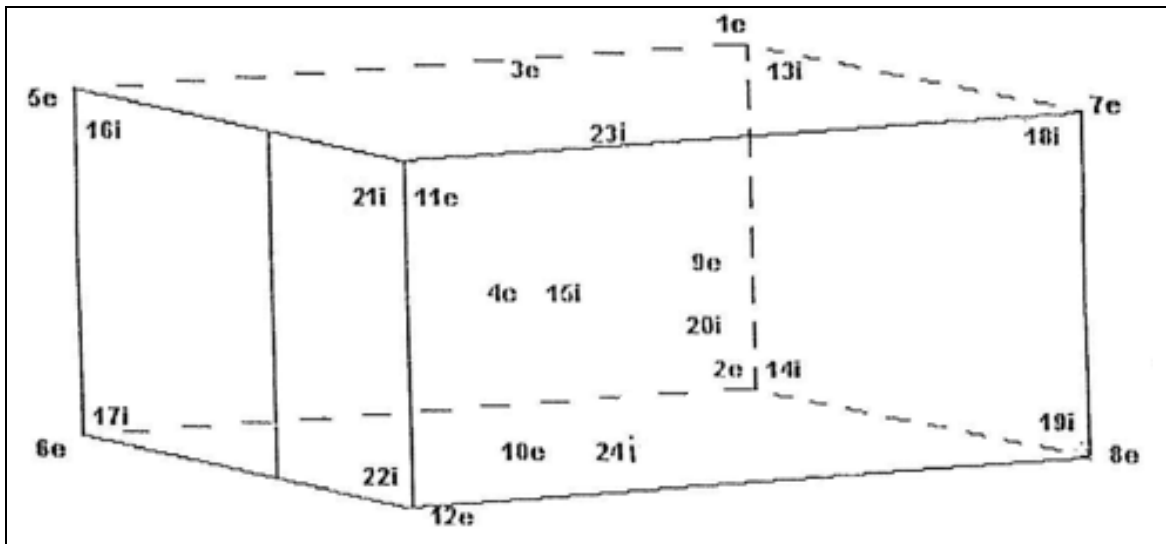


Figura 1.2-1: Schema rilevamento sonde di temperatura

1.2.2 Calcolo del coefficiente di scambio termico (K)

Per il calcolo del coefficiente (K) il veicolo deve essere posto all'interno di una vano isolato con gli scomparti vuoti. La misura può essere effettuata mediante sistema di

raffreddamento o riscaldamento interno.

Essendo i dati riferiti a prove sostenute mediante sistema di riscaldamento interno, ci si limita alla descrizione di questo metodo.

Le temperature medie (T_i) e (T_e) saranno considerate a regime quando la differenza tra i due punti sarà compresa tra $\pm 0,5$ °C, per l'interno, e $\pm 2,0$ °C, per l'esterno, e quando sarà a livello tale che la differenza di temperatura tra l'interno della cassa e l'ambiente esterno sarà pari a 25 ± 2 °C, con la temperatura delle pareti (T_p) mantenuta a $+ 20 \pm 0,5$ °C.

Durante la prova, l'aria all'interno della camera isoterma dovrà essere mossa in modo tale che la velocità misurata a 10 cm dalle pareti sia compresa tra 1 e 2 m/s, mantenendo uno strato laminare a ridosso delle stesse.

Le temperature, interne ed esterne, vengono rilevate ogni 4 ore; al termine del periodo di prova viene redatto un verbale secondo normativa.

1.3 La normativa in Italia

L'accordo A.T.P. concede ad ogni Stato aderente la possibilità di designare l'ente esperto per la verifica periodica delle caratteristiche minime necessarie e la cadenza delle stesse.

In Italia la normativa prevede la verifica delle proprietà prima della messa in servizio della struttura, poi, periodicamente, ogni 6 anni, o qualora intervenga una richiesta specifica da parte delle autorità competenti generata dubbi sulla effettiva efficienza. Nella stessa, sono definite due figure principali delegate a tale compito: i centri prova autorizzati dello Stato, quali CNR (Consiglio Nazionale di Ricerca) o CPA (Centri Prova Autoveicoli), dislocati in tutto il territorio, di seguito denominati anche "Centri Nazionali", ma anche degli "esperti" i quali operano presso sedi private, dotate di particolari attrezzature e locali idonei autorizzati e verificati periodicamente da funzionari del Ministero dei Trasporti. Queste figure non possono, tuttavia, eseguire le medesime prove dei primi, ma sono limitate alla verifica periodica dell'efficienza dei sistemi di raffreddamento e al controllo dello stato generale.

La disciplina prevede, inoltre, particolari limitazioni alle prove eseguibili presso gli esperti, i quali possono rinnovare la validità del certificato di idoneità solo per un periodo limitato (3 anni) e non di 6 anni come invece è previsto nel caso di rinnovo presso enti nazionali dello Stato. Gli esperti possono eseguire un primo e, al massimo, un secondo rinnovo del certificato, alla scadenza del quale il veicolo deve essere sottoposto alla verifica solo presso i Centri Nazionali per la valutazione del

mantenimento dei requisiti di scambio termico, pena il declassamento della struttura stessa da rinforzata a normale o la completa perdita dell'attestazione ATP.

La possibilità di rinnovare l'attestato presso esperti, o presso i centri nazionali, comporta una dispersione delle prove negli anni. Queste, a partire dal sesto anno di servizio, si possono riunire in gruppi divisi ogni terzo, sesto, nono, dodicesimo anno di servizio e così via, come si indicherà nei grafici dei prossimi paragrafi.

In alcuni casi, tuttavia, le verifiche vengono effettuate anche in anni intermedi rispetto alla cadenza descritta sopra, queste circostanze si vengono a creare qualora:

- la cassa rimanga inutilizzata per un certo periodo perché in vendita o per manutenzione;
- la verifica viene prenotata oltre la scadenza per negligenza o per indisponibilità;
- la cassa viene sottoposta a prova straordinaria a seguito di incidenti che comportino il ripristino completo o parziale della carrozzeria isolata.

Per identificare la cassa, le scadenze e la classe di appartenenza, la normativa prevede la presenza di:

- attestato A.T.P.: in formato A4 dal 2014 riportante i dati del proprietario, del centro che ha provveduto alle prove, delle caratteristiche tecniche e la scadenza, rilasciato dall'Ufficio Provinciale del ministero dei trasporti;
- targa punzonata del costruttore della cassa: riportante gli estremi identificativi quali modello, numero di serie, data di messa in servizio, fissata alla struttura;
- targa punzonata del costruttore del gruppo frigorifero: riportante gli estremi identificativi quali modello, numero di serie, data di messa in servizio, fissata alla struttura;
- targa punzonata del centro o esperto che ha effettuato le prove: riportante gli estremi di questo, la classe assegnata alla cassa e la scadenza;
- adesivi a scritte blu e fondo bianco: incollati nell'angolo in alto sul lato lungo della cassa e nella parte opposta all'apertura delle porte, riportanti la classe e la scadenza.

CAPITOLO 2 – Invecchiamento delle pareti

I veicoli adibiti al trasporto (autocarri, rimorchi, semirimorchi o contenitori), secondo normativa A.T.P. sono allestiti, da officine specializzate, con una struttura a pareti rigide ancorata al telaio, atta a garantire il mantenimento di una certa temperatura interna durante il tragitto stradale. Le strutture stesse possono, tuttavia, differire tra loro in funzione degli accessori installati, di cui si tratterà in seguito.

Le pareti dei veicoli sono costituite da pannelli “sandwich” al cui interno si è fatta espandere una schiuma poliuretanicca con lo scopo di isolare l'ambiente interno da quello esterno e rivestita da lamierino verniciato atto a garantire l'igiene e l'impermeabilità da umidità ed aria.

Dai dati sperimentali, e dall'esperienza, si evince che le proprietà isolanti complessive della struttura decadono con il tempo, con conseguenze rilevanti per l'organizzazione del trasporto delle materie che necessitano di un regime a temperatura controllata permanente; si considera, dunque, utile risalire alle possibili cause di deterioramento.

A questo scopo, si sono raccolti ed esaminati i risultati ottenuti dalle prove periodiche eseguite presso il C.N.R. di Padova.

Si sono rese disponibili 7867 prove eseguite nell'intervallo temporale dal 01 Gennaio 2004 al 04 Luglio 2014. Dopo una prima analisi, circa metà delle prove presentano dati spuri per molteplici fattori, quali:

- prove non a regime, dette anche *prove interrotte*: sono delle prove il cui esito, positivo o negativo, è stato raggiunto prima del tempo previsto dalla normativa;
- anno di costruzione o età del furgone non rilevabile: non può quindi essere abbinato ad alcun anno di messa in servizio;
- prototipi o esemplari unici: non essendo di serie non si possono considerare all'interno del parco veicolare circolante;
- veicoli cisterna: sono poche unità e dotati di struttura coibentata completamente differente rispetto a quella in esame;
- veicoli con lunghezza interna utile minore di 2,5 m: sono veicoli dalle dimensioni caratteristiche inferiori ad un certo limite, in scarso numero, e per loro costruzione non confrontabili con le strutture in esame essendo veicoli non allestiti ma derivanti da una produzione di serie di case automobilistiche e modificati internamente;
- veicoli di età inferiore a 5 anni: sono veicoli sottoposti a prove straordinarie e non imposte da normativa;

- veicoli di età superiore a 25 anni: sono veicoli, le cui caratteristiche hanno già perso quasi totalmente le proprietà isolanti o costruiti secondo normative obsolete e non confrontabili al parco veicolare attuale.

2.1 Invecchiamento percentuale e coefficiente di invecchiamento

Dai dati forniti dal C.N.R. di Padova si sono successivamente determinati i valori di *invecchiamento percentuale* “%INV” e *coefficiente di invecchiamento annuo* “%CIA” per ogni prova con le formule seguenti, già utilizzate in letteratura [1], [2], [5], [9], [10]:

Equazione 4

$$\%INV = \frac{\lambda_{eq.usato} - \lambda_{eq.nuovo}}{\lambda_{eq.nuovo}} \cdot 100$$

Equazione 5

$$\%CIA = \frac{\%INV}{\text{età furgone}}$$

λ_{eq} rappresentano le conduttività equivalenti delle pareti del veicolo nuovo e del veicolo usato, avendo posto rispettivamente $K = K_{prova}$, ottenuto dalla prova eseguita presso il C.N.R. e $K = K_{nuovo}$.

Al fine di determinare i valori di E.4 e E.5 si sono utilizzate altre formulazioni, note anch'esse da letteratura.

La %INV è un valore puntuale, in un preciso anno di vita del mezzo, che rappresenta l'aumento percentuale della conduttività termica rispetto al suo valore iniziale. Questo parametro è importante perché, noto il suo andamento nel tempo, permette di calcolare quale sarà il coefficiente globale di scambio termico di un veicolo, di anno in anno, a partire dal valore iniziale.

Il parametro %CIA è rappresentativo della velocità media di invecchiamento della struttura stessa e risulta utile, anche questo, nel calcolo di previsione delle capacità isolanti negli anni.

2.1.1 Coefficiente di trasmissione globale del calore teorico “ $K_{teorico}$ ”

Per ogni veicolo coibentato, considerato in ipotesi semplificativa un parallelepipedo, è possibile determinare il valore del coefficiente globale di scambio termico teorico ($K_{teorico}$) nell'ipotesi di regime permanente, trascurando il rivestimento dei pannelli e i ponti termici, considerando, quindi, i soli scambi termici superficiali e di conduzione:

Equazione 6

$$K_{teorico} = \sum_{i=1}^6 K_i \cdot \frac{S_i}{S_t}$$

essendo S_i la media geometrica delle superfici totali interna ed esterna [m^2], S_i la media geometrica tra superficie interna ed esterna della i -esima parete [m^2], K_i il coefficiente globale di trasmissione del calore della i -esima parete derivante da:

Equazione 7

$$K_i = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \sum_j \frac{S_{j_i}}{\lambda_{p_i}}\right)}$$

essendo α_i e α_e i coefficienti interni ed esterni di scambio termico superficiale [W/m^2K], λ_{p_j} , S_{j_i} la conduttività termica e lo spessore dello strato j -esimo della i -esima parete [W/mK], [m].

Per meglio chiarire i concetti espressi dalle equazioni E.6 e E.7 si riportano le formule relative al calcolo del flusso termico [W] di ogni singola parete q_i e quello globale q_t :

Equazione 8

$$q_i = S_i \cdot \Delta T_i \cdot K_i$$

Equazione 9

$$q_t = \left(\sum_{i=1}^6 K_i \cdot \frac{S_i}{S_t} \right) \cdot S_t \cdot \Delta T = K_{teorico} \cdot S_t \cdot \Delta T$$

Il coefficiente K [W/m^2K] indica, dunque, la potenza teorica scambiata per unità di superficie della cassa isolata quando la differenza di temperatura tra interno ed esterno è pari ad un grado Kelvin.

2.1.2 Qualità costruttiva "QC"

Come si è visto dalla E.6 e E.7 il coefficiente globale di scambio teorico può essere espresso tramite opportuni valori convenzionali, tuttavia, come dimostrato da valori ottenuti tramite prove sperimentali, questo risulta in difetto anche per veicoli nuovi quindi non interessati dal fenomeno di invecchiamento. Le Differenti tecnologie, i sistemi di produzione e i diversi materiali influenzano, infatti, la qualità complessiva della cassa isolata e quindi del prodotto finale; per correlare questi fattori al diverso valore del coefficiente di scambio tra teorico e sperimentale si introduce un coefficiente QC di qualità costruttiva, definito come:

Equazione 10

$$QC = \frac{K_{teorico}}{K_{nuovo}}$$

La qualità costruttiva è data dal rapporto tra il coefficiente di scambio globale teorico e quello nuovo misurato; il valore risulta compreso tra zero e uno. Più quest'ultimo si avvicina all'unità più le caratteristiche termiche sono da considerarsi buone.

Da letteratura [1] e [10] si evince che, nel corso degli anni, attraverso prove sperimentali su veicoli nuovi, tale parametro ha subito uno scostamento verso il basso da valori di 0,77 fino a 0,70-0,69.

Questo parametro risulta di fondamentale importanza poiché permette il confronto tra le capacità costruttive dei diversi allestitori e la valutazione dell'influenza di alcuni componenti strutturali quali porte, guidovie, spessori, presenza del gruppo frigorifero e/o passaruota.

Ai fini dell'analisi si assume un valore di QC pari a 0,69 da cui è possibile calcolare il K_{nuovo} dal rapporto:

Equazione 11

$$K_{nuovo} = \frac{K_{teorico}}{QC}$$

2.1.3 Conduttività equivalente λ_{eq}

Da E.6, E.7, E.8, e E.9, si deduce che il coefficiente globale di scambio termico K sia ricavato in funzione dello spessore dell'isolante, rendendo quindi non confrontabili veicoli con pannelli a differente spessore.

Si considera, dunque, un nuovo parametro K_{eq} di equivalenza che tenga conto dello spessore di parete [1]:

Equazione 12

$$K_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{S_m}{\lambda_{eq}}}$$

essendo S_m lo spessore medio termico del cassone ottenuto dal bilancio:

Equazione 13

$$q_t = \left(\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{S_i} \right) \cdot \lambda \cdot \Delta T = \lambda \cdot \Delta T \cdot \frac{A_t}{S_m}$$

Equazione 14

$$S_m = \frac{A_t}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{S_i}}$$

Si introducono i valori convenzionali per i coefficienti di convezione α pari a 10 W/m²K da cui si ricava l'espressione della conduttività equivalente ai fini del calcolo di %INV e %CIA:

Equazione 15

$$\lambda_{eq} = \frac{K_{eq} \cdot S_m}{1 - 0,2 \cdot K_{eq}}$$

2.2 Interpretazione valori %INV e %CIA

Dai dati sperimentali forniti si calcolano i valori di *percentuale invecchiamento* e *percentuale di invecchiamento annuo* tramite E.4 e E.5.

I valori ottenuti, per alcune prove, risultano inferiori allo 0% e altri superiori al 150% per %INV e superiore al 15% per %CIA; questi si scartano dalla valutazione in quanto non si possono considerare valori reali; essi indicano un probabile errore nella valutazione della qualità costruttiva assunta, che si correla al coefficiente di scambio globale nuovo assunto, da considerarsi nel primo caso troppo bassa e nel secondo caso troppo alta, oppure, a causa di modifiche apportate al veicolo e/o incidenti con conseguenti infiltrazioni di acqua e aria, durante gli anni di esercizio, che possano aver alterato le proprietà isolanti della struttura installata su di esso, come: manutenzioni straordinarie, incidenti, sostituzione di componenti, ecc.

Da queste prime considerazioni si possono valutare gli andamenti indicativi dell'invecchiamento, nel caso generale, senza fare distinzione tra le particolari dotazioni e caratteristiche dei veicoli. Si sono rese disponibili 3576 prove.

Nei grafici, come si vedrà nei prossimi capitoli, si riporta in ascissa un intervallo temporale suddiviso in periodi di tre anni; tale scelta si correla a quanto già descritto nella normativa (capitolo 1) in riferimento alla cadenza imposta dalla stessa per quanto riguarda le prove periodiche per i veicoli in oggetto. In ordinata viene invece riportata la percentuale di invecchiamento o il coefficiente di invecchiamento annuo.

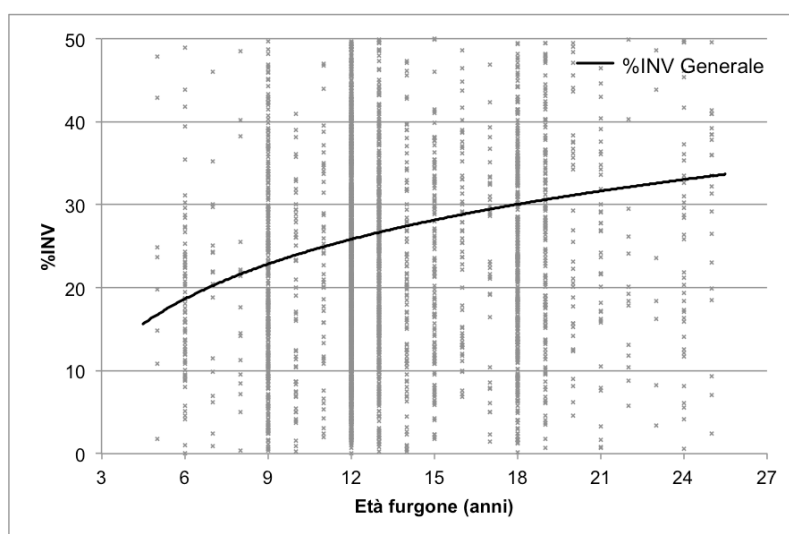


Grafico 2.2a: Andamento %INV per 3576 prove eseguite presso il C.N.R. di Padova imponendo un QC=0.69 e considerando valori compresi tra 0% e 150%

I valori ottenuti si possono rappresentare come singoli punti nei grafici G.2.2a e G.2.2b e successivamente, si interpolano con una curva logaritmica. Queste curve, rappresentative dell'andamento generale dei valori %INV e %CIA, evidenziano come, con andamento logaritmico, le proprietà isolanti subiscano un degrado maggiore nei primi anni di esercizio, si consideri la pendenza della curva, per poi raggiungere un valore di plateau che si correla alla perdita completa di tali proprietà.

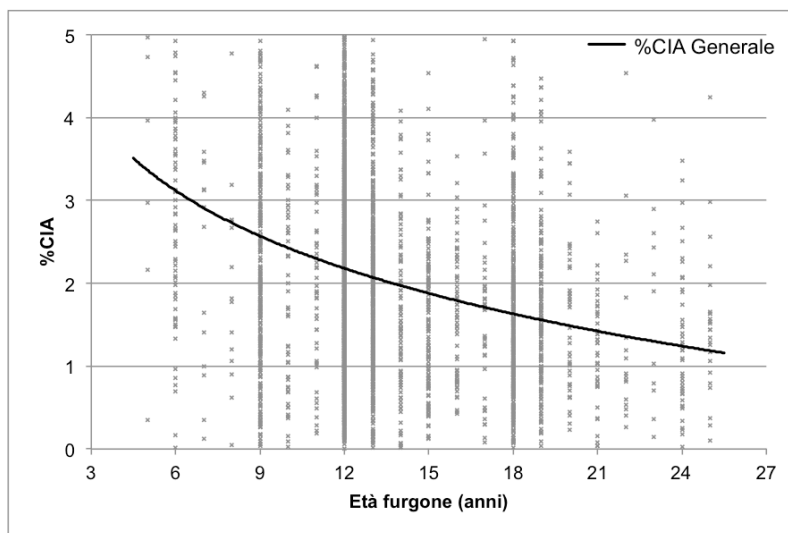


Grafico 2.2b: Andamento %CIA per 3576 prove eseguite presso il C.N.R. di Padova imponendo un $QC=0.69$ e considerando valori compresi tra 0% e 15%

Nel capitolo successivo si è cercato di individuare i principali fattori di degrado delle proprietà isolanti in funzione alle caratteristiche strutturali e non dei veicoli destinati al trasporto in regime di temperatura controllata.

CAPITOLO 3 – Cause dell’invecchiamento

Come introdotto nel capitolo 2, esistono diverse peculiarità nella cassa che possono influenzare le caratteristiche isolanti sia per una struttura nuova, a tal fine è stato introdotto il parametro QC qualità costruttiva, sia con il passare degli anni dopo la messa in servizio della stessa. Di seguito si è cercato di individuare le principali cause della perdita delle proprietà isolanti e della velocità del degrado stesso sfruttando un opportuno campione di prove.

3.1 Presenza del gruppo frigorifero

Molti veicoli, oltre all’isolamento, sono dotati di un gruppo frigorifero, di tipo autonomo o non autonomo rispetto alla trazione dello stesso (in questo caso nella sigla della classificazione internazionale compare una lettera “X”, ad esempio FNAX e FRCX), in quanto le condizioni del trasporto necessitano di una temperatura interna al vano al di sotto di un certo limite per tutto il tragitto con qualsiasi condizione atmosferica esterna, come riportato al capitolo 1.1. Altri veicoli, di cui si tratterà in seguito, sono dotati, in alternativa al gruppo frigorifero, di piastre eutettiche per il trasporto di particolari alimenti.

	Numero prove
Veicoli isolati	279
Veicoli isolati con frigo	3020

Tabella 3.1: numero di prove a disposizione per l’analisi riferita alla presenza del gruppo frigorifero



Figura 3.1a: Veicolo senza gruppo frigorifero



Figura 3.1b: Veicolo con gruppo frigorifero

Dalla tabella T.3.1 si deduce che il parco veicolare circolante è composto per il 90% circa da veicoli muniti di gruppo frigorifero e solo il 10% di veicoli semplicemente isolati. Questo fenomeno si collega alla necessità, da parte delle ditte di trasporto, di avere flessibilità nei trasporti e poter ,all'occorrenza, trasportare merci diverse che necessitino o meno di un regime a temperatura controllata.

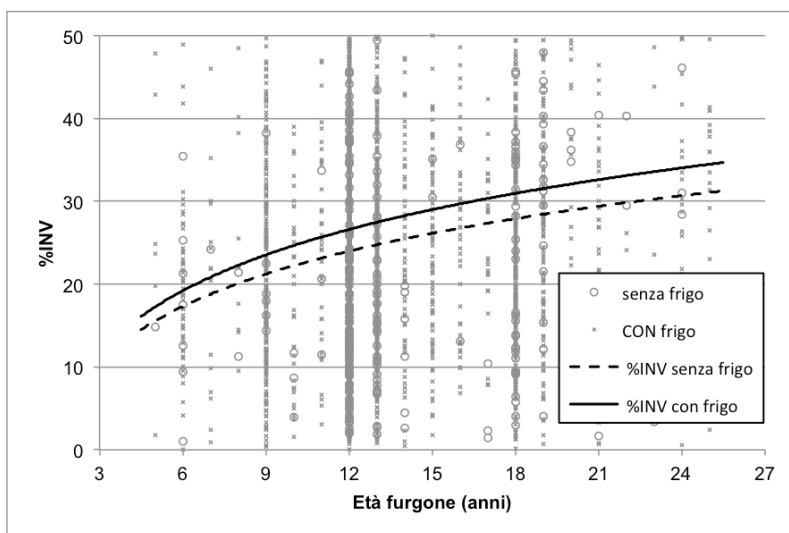


Grafico 3.1a: andamento %INV per veicoli con e senza gruppo frigorifero

Dal grafico G.3.1a si nota come le curve, a partire da un iniziale scarto, che si può definire costruttivo, si allontanano. Dall'andamento si può dedurre che l'aumento dei ponti termici e dello stress termico legato ai ripetuti cicli di riscaldamento/raffreddamento, influenzi in modo negativo le proprietà isolanti nel tempo.

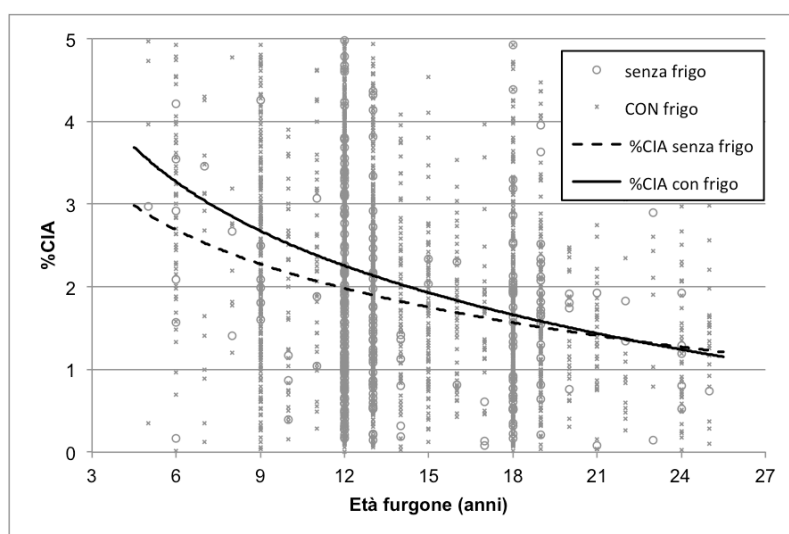


Grafico 3.1b: andamento %CIA per veicoli con e senza gruppo frigorifero

Dalla pendenza delle curve nel grafico G.3.1b, allo stesso modo, si evince che, per il veicolo munito di gruppo frigo, nei primi anni le caratteristiche isolanti degradano più velocemente rispetto ad uno senza tale accessorio. Si nota come, intorno al ventiduesimo anno, le curve si invertano; questo andamento si può correlare al fatto che la cassa con gruppo frigorifero abbia perso completamente, o quasi, le proprietà isolanti.

Per rappresentare la dispersione dei valori calcolati, nei grafici del presente paragrafo, come nel capitolo 2.2 si sono riportati anche i valori di ogni singola misura. I grafici successivi si limiteranno a riportare la linea di tendenza per chiarezza visiva.

3.2 Presenza delle guidovie

Le guidovie sono particolari accessori molto spesso installati in veicoli destinati al trasporto di alimenti appesi come le carni.

Il trasporto, legato all'utilizzo di queste, risulta molto gravoso per la struttura, in quanto il dondolio stesso delle merci appese, come le mezzene, comporta una sollecitazione dinamica e a fatica la cassa nella direzione del senso di marcia in accelerazione o frenata e lateralmente mentre si percorrono delle curve.

A partire dalle considerazioni fatte nel capitolo 3.1, si sono considerati solo veicoli muniti di gruppo frigo, essendo il campione sufficiente (3020 prove), successivamente suddivisi in veicoli con e senza guidovie, come riportato in tabella T.3.2.



Figura 3.2a: Veicolo senza guidovie



Figura 3.2b: Veicolo con guidovie

	Numero prove
Veicoli senza guidovie	2462
Veicoli con guidovie	551

Tabella 3.2: numero di prove per l'analisi riferita alla presenza delle guidovie e del gruppo frigorifero

Dal grafico G.3.2a si nota come la distanza tra le due curve logaritmiche aumenti nel corso degli anni. A partire da uno scostamento iniziale del 3% si giunge ad una differenza del 7% circa. Si può dedurre che la presenza delle guidovie deteriori in modo significativo le proprietà isolanti della struttura nel tempo. La causa si può ricondurre a quanto citato in precedenza, le carni, ad esempio, lasciate appese e libere di muoversi durante il trasporto vanno a sollecitare il vano di carico a livello strutturale fino a comprometterne la capacità isolante.

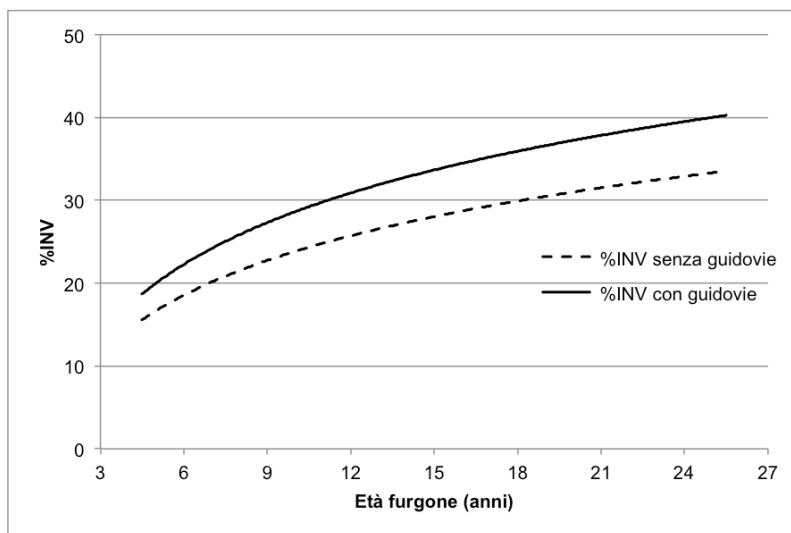


Grafico 3.2a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e con o senza guidovie

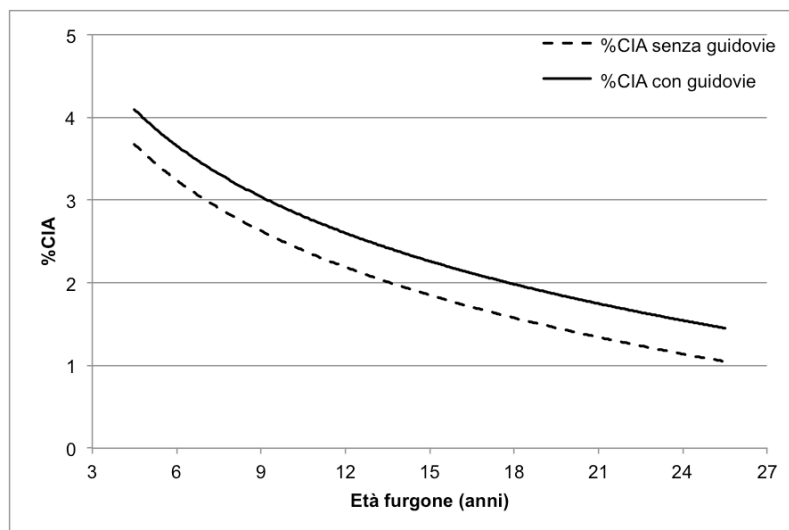


Grafico 3.2b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e con o senza guidovie

Dall'andamento delle curve del grafico G.3.2b, si evidenzia come, nonostante l'invecchiamento appaia più elevato con la presenza delle guidovie, la velocità di deterioramento permanga in rapporto quasi costante tra i due casi. Si può considerare, in prima approssimazione il *coefficiente di invecchiamento annuo* indipendente dalla presenza di tale elemento.

Esaminati i primi due casi, questi si possono considerare come base di partenza per le analisi successive. Considerando la numerosità del campione di dati a disposizione (2462), nelle seguenti trattazioni si esamineranno solo casse dotate di gruppo frigo e prive di guidovie allo scopo di diminuire le variabili in gioco e rendere il campione in esame il più omogeneo possibile.

3.3 Dimensioni del veicolo

Per valutare il possibile effetto delle dimensioni della cassa isolata, quanto l'andamento dell'invecchiamento delle proprietà isolanti, si sono sviluppati due casi di studio. Il primo si riferisce all'effettiva lunghezza interna, utile, della cassa, il secondo al rapporto tra superficie interna e volume della stessa allo scopo di verificare la correlazione, già nota in letteratura, tra i due parametri.

3.3.1 Lunghezza interna

La lunghezza interna della cassa si può considerare un parametro fondamentale per caratterizzare un veicolo. A questa, infatti, si può associare una lunghezza totale e una potenziale massa complessiva a pieno carico del veicolo e di conseguenza una particolare categoria associata al Codice della Strada italiano.

Le prove a disposizione si sono suddivise in quattro categorie a seconda della lunghezza utile interna [m]. Ricordando che, come già motivato nel capitolo 2, non si sono considerati i veicoli di lunghezza utile interna minore di 2,5 [m]. Si sono definiti i gruppi suddivisi come riportato in tabella T.3.3.1

Lunghezza interna [m]	Numero prove	Figure
L < 5,00	976	3.3.1a
5,00 ≤ L < 6,50	391	3.3.1b
6,50 ≤ L < 12,00	664	3.3.1c
L ≥ 12,00	431	3.3.1d

Tabella 3.3.1: numero di prove per l'analisi riferita alla lunghezza interna con gruppo frigorifero senza guidovie



Figura 3.3.1a: Veicolo lunghezza utile interna 2,80 m



Figura 3.3.1b: Veicolo lunghezza utile interna 5,15 m



Figura 3.3.1c: Veicolo lunghezza utile interna 9,40 m



Figura 3.3.1d: Veicolo lunghezza utile interna 13,46 m

Dal grafico G.3.3.1a si evince che la lunghezza interna del veicolo influisca molto sull'andamento della percentuale di invecchiamento. Si nota come, per lunghezze inferiori a dodici metri, le curve non si posizionano in senso ascendente al diminuire della lunghezza ma sono addensate e invertite, questo può essere ricondotto alle innumerevoli altre variabili che possono concorrere ed influire sull'analisi; tuttavia, appare evidente come, per lunghezze interne superiori a dodici metri, si possa associare un andamento dell'invecchiamento a percentuali più basse quindi più favorevoli a garantire l'isolamento nel lungo periodo.

A partire da uno scarto iniziale costruttivo, si nota come le curve divergono negli anni fino ad arrivare ad uno scostamento al ventiquattresimo anno di età in media di circa il 6%.

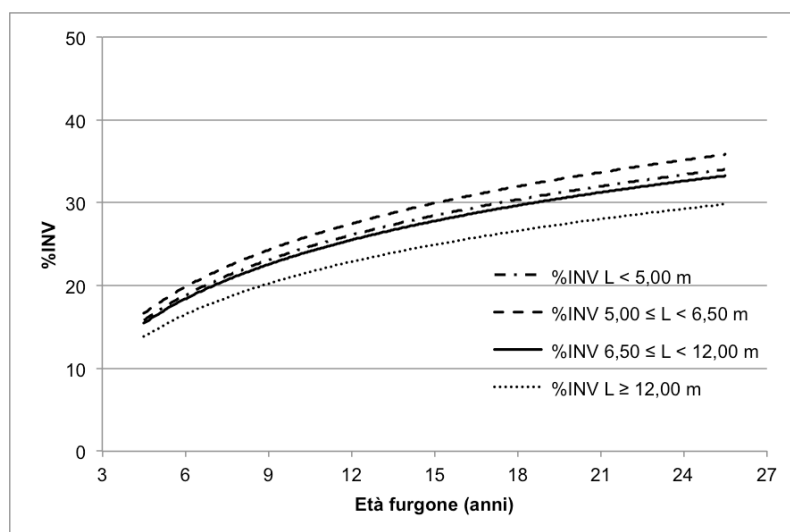


Grafico 3.3.1a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito alla lunghezza interna

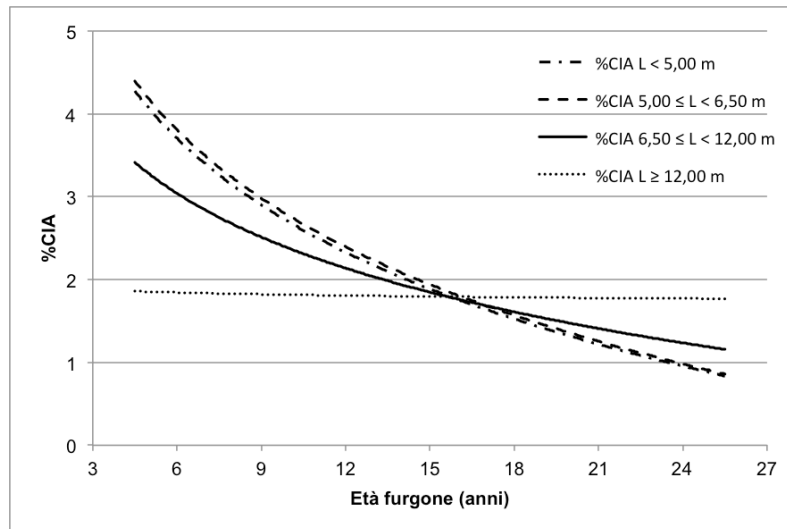


Grafico 3.3.1b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito alla lunghezza interna

Il grafico G.3.3.1b, quanto l'andamento della percentuale di invecchiamento annuo %CIA, evidenzia un andamento anomalo quasi costante e lineare nel tempo per i veicoli con lunghezza superiore a dodici metri, mentre un andamento, ed un ordine, discendente, per le altre tre categorie di veicoli, come si poteva presumere visto l'andamento del grafico G.3.3.1a.

3.3.2 Rapporto superficie-volume

La lunghezza interna di un veicolo può non essere considerata un parametro sufficiente per valutare le dimensioni del veicolo. A parità di lunghezza disponibile interna si possono definire aree interne effettive e volumi diversi, a seconda della altezza della cassa e della larghezza.

Allo scopo di eliminare questa dipendenza si sono calcolati i rapporti tra superficie e volume di ogni veicolo e successivamente si sono individuate tre macro categorie, come riportato nella tabella T.3.3.2.

Superficie/Volume [m^{-1}]	Numero prove
$1,6 \leq s/V < 2,1$	1325
$2,1 \leq s/V < 2,6$	607
$2,6 \leq s/V < 3,1$	517

Tabella 3.3.2: numero di prove a disposizione per l'analisi riferita al rapporto tra superficie e volume per veicoli con gruppo frigorifero e senza guidovie

Dal grafico G.3.3.2a, si può dedurre che il rapporto tra superficie e volume della cassa isolata non è riconducibile ad un particolare andamento del coefficiente di invecchiamento. La curva del valore intermedio, $2,1 \leq s/V < 2,6$, è quella che interpola valori maggiori mentre gli altri due macro-gruppi si sovrappongono perfettamente.

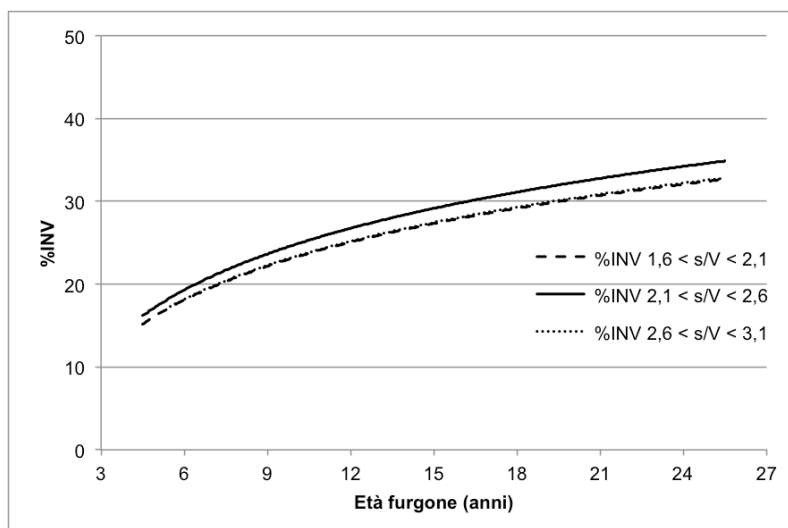


Grafico 3.3.2a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito al rapporto superficie volume

Dal grafico G.3.3.2b, invece, l'andamento delle curve logaritmiche si può considerare più prevedibile. Per rapporti più bassi di superficie-volume, l'invecchiamento annuo ha valori minori entro i primi diciassette anni di servizio per poi rimanere più elevato rispetto a valori del rapporto più alti. Questo andamento si può considerare una verifica di quanto già descritto al paragrafo 3.3.1. Rapporti superficie-volume a valori bassi si possono ricondurre a veicoli di lunghezza superiori a dodici metri; quest'ultimi, infatti, hanno sempre superfici interne e volumi molto grandi.

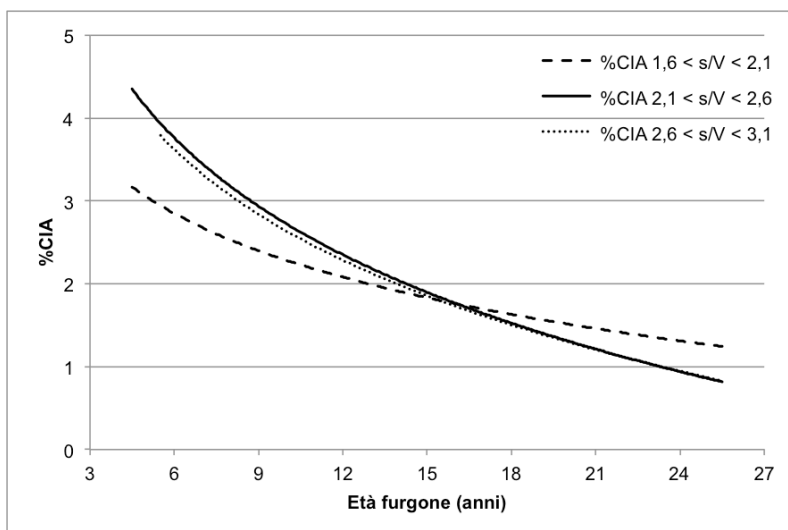


Grafico 3.3.2b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito al rapporto superficie volume

Si può dedurre che il rapporto superficie-volume non consente una corretta valutazione dell'effetto sull'invecchiamento probabilmente per i troppi fattori in gioco, cosa che non accade in riferimento alla %CIA.

3.4 Presenza delle aperture

Ogni cassa, per garantire carico e scarico della merce ed un semplice accesso al vano per gli operatori, deve essere dotata di opportune aperture. Queste sono realizzate con i medesimi pannelli sandwich della cassa e ancorati alla struttura a mezzo di opportune cerniere di fissaggio sulla struttura. Gli incavi creati sulla cassa e le porte stesse sono sigillate per l'intero perimetro con guaine isolanti.

I ponti termici per la presenza di cerniere, sollecitazioni strutturali derivanti dall'apertura e chiusura delle pareti discontinue mobili e il degrado naturale delle guaine con il tempo, possono essere considerati, in prima ipotesi, elementi negativi quanto la capacità isolante sia nel breve che nel lungo termine.

La differenza di dimensione delle aperture, a seconda del veicolo e delle necessità del cliente trasportatore, non permettono una correlazione con la numerosità di queste lungo le pareti; per ovviare a questo, si sono sviluppate due analisi.



Figura 3.4a: Esempio di apertura posteriore

3.4.1 Perimetro complessivo delle aperture

Il perimetro delle aperture, dato dalla somma del perimetro di ogni singola apertura, che sia essa laterale o posteriore, permette di valutare l'effetto derivante dalla presenza di aperture. Per la corrente analisi, come per la successiva, al fine di ridurre le variabili e mantenere il campione di veicoli in esame omogeneo per caratteristiche, si considereranno solo veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie.

Vista l'ampia finestra di valori emersa nell'analisi dei campioni di prova, si sono suddivisi i dati in cinque gruppi, ad ampiezza costante, come riportato in tabella T.3.4.1.

Perimetro aperture [m]	Numero prove
$8,7 \leq 2p < 12,1$	238
$12,1 \leq 2p < 15,5$	968
$15,5 \leq 2p < 18,9$	544
$18,9 \leq 2p < 22,3$	379
$2p \geq 22,3$	296

Tabella 3.4.1: numero di prove per l'analisi riferito al perimetro delle aperture con gruppo frigorifero e senza guidevie



Figura 3.4b: Esempio di apertura laterale

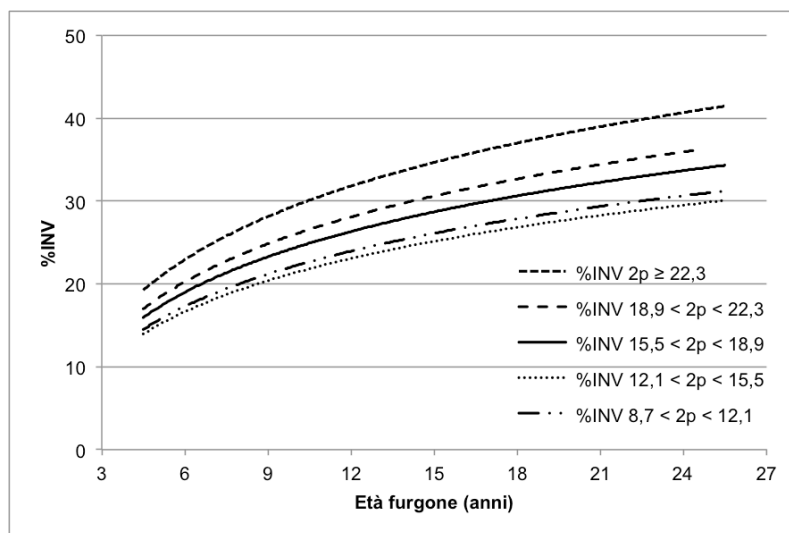


Grafico 3.4.1a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidevie riferito al perimetro aperture porte

Dal grafico G.3.4.1a e G.3.4.1b, si deduce come le aperture comportino un notevole calo delle proprietà isolanti. Si evidenzia come, sia a livello costruttivo iniziale, sia negli anni, la presenza di molte aperture o aperture di grandi dimensioni influiscano in modo negativo nella capacità isolanti complessive della cassa.

L'andamento, quasi parallelo, di alcune curve per il coefficiente di invecchiamento annuo, dimostra come esista una diretta correlazione tra perdita delle caratteristiche isolanti e perimetro totale delle aperture.

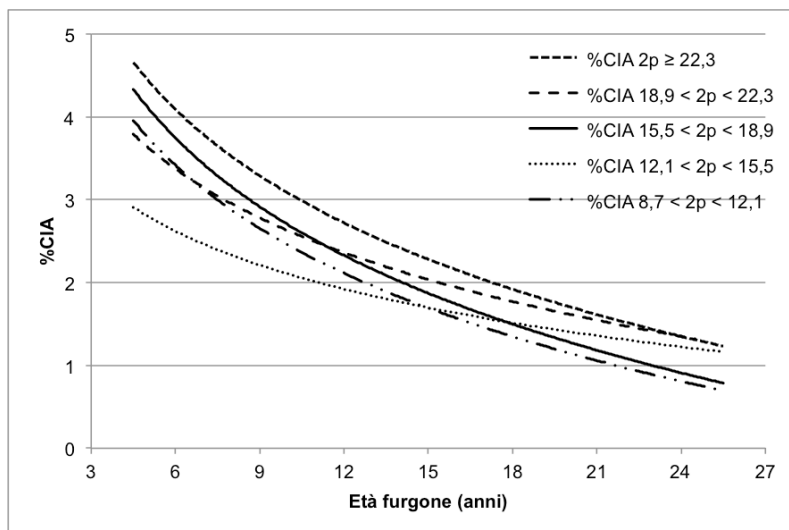


Grafico 3.4.1b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito al perimetro aperture porte

3.4.2 Rapporto perimetro aperture e superficie interna

Dopo aver valutato l'effetto generale delle dimensioni delle aperture, si considera utile parametrizzare tale variabile a seconda della superficie interna a disposizione, in modo da poter correlare le dimensioni delle aperture con la dimensioni effettive della cassa.

Si sono dunque calcolati i rapporti e di seguito si sono suddivisi i valori ottenuti in tre campi principali, come riportato in tabella T.3.4.2.

Perimetro/Superficie [m^{-1}]	Numero prove
$2p/A < 0,2$	933
$0,2 \leq 2p/A < 0,4$	1024
$2p/A \geq 0,4$	508

Tabella 3.4.2: numero di prove a disposizione per l'analisi riferita al rapporto tra perimetro delle aperture e superficie interna

Dall'andamento delle curve dei grafici sopra riportati, si avvalora quanto affermato nel paragrafo 3.4.1. Un rapporto elevato tra perimetro e superficie indica come la numerosità e le dimensioni delle aperture sia, a parità di superficie, più elevata. Si

deduce come le aperture siano uno dei principali fattori, in assoluto, causa dell'invecchiamento.

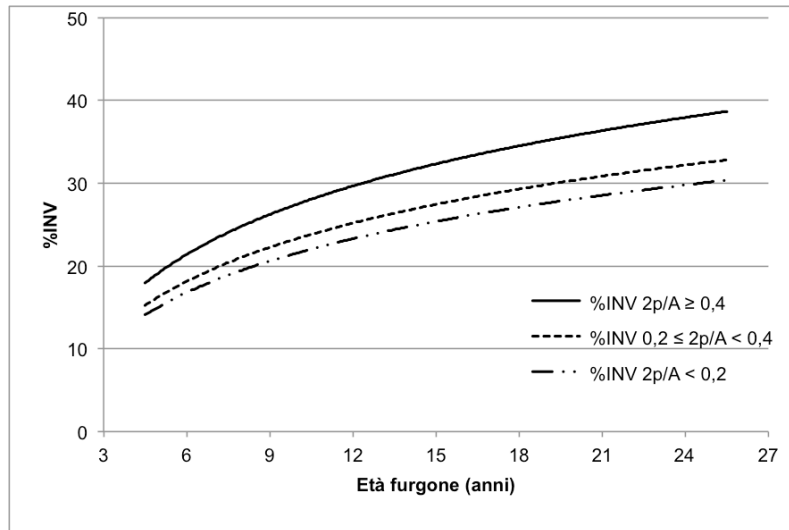


Grafico 3.4.2a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito al perimetro aperture e superficie interna

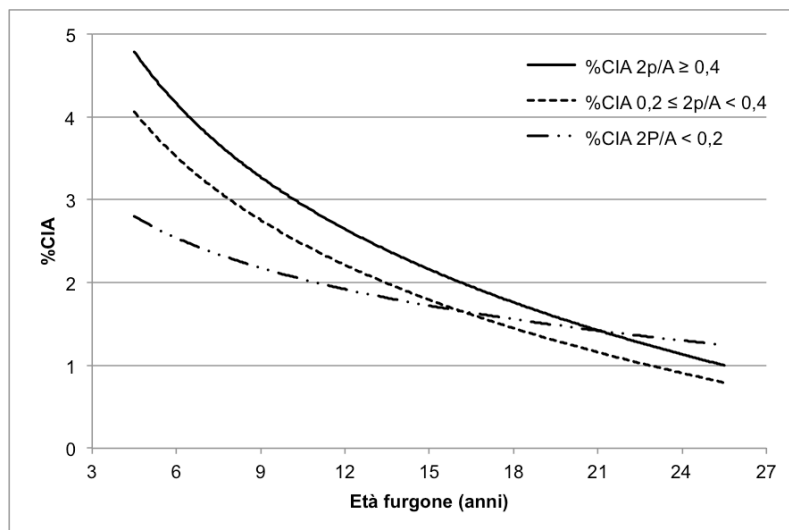


Grafico 3.4.2b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito al perimetro aperture e superficie interna

Analizzando il grafico G.3.2a si nota come lo scarto tra rapporti inferiori a 0,2 [m⁻¹] e superiori a 0,4 [m⁻²] passi dal 4-5% del sesto anno, fino all' 8-9% del ventiquattresimo. Allo stesso modo si deduce dall'andamento del grafico G.3.2b come questa sia maggiore nei primi anni per valori più elevati del rapporto "2p/A" a cui segue un drastico calo, mentre, per valori più bassi, i valori iniziali sono inferiori, e si abbina una minore pendenza della curva.

3.5 Spessore medio termico

Come definito del capito 2, lo spessore medio termico è quel valore medio, definito dall' equazione E.14, utilizzato come termine di riferimento per lo spessore effettivo da considerare a livello termico essendo lo spessore delle pareti della cassa diverso tra quelle laterali, quelle del fondo, del cielo e le anteriori. Tale valore viene utilizzato per il calcolo del λ_{eq} nella E.15.

Al fine di valutare il possibile effetto dello spessore medio termico sull'invecchiamento dei veicoli, si sono suddivisi i valori in tre gruppi come riportato in tabella T.3.5. Anche in questa analisi si sono valutati solo veicoli dotati di gruppo frigorifero e senza guidovie.

Spessore medio termico [mm]	Numero prove
smt < 80	1573
80 ≤ smt < 85	605
smt ≥ 85	284

Tabella 3.5: numero di prove per l'analisi riferita allo spessore medio termico con gruppo frigorifero e senza guidovie

L'individuazione dei gruppi di suddivisione, a seconda dello spessore medio termico, risulta non omogenea quanto la numerosità delle prove, ma necessaria in quanto la scelta errata dei campi opportuni comporterebbe una deviazione evidente rispetto ai valori, per esperienza, e, da letteratura, più probabili.

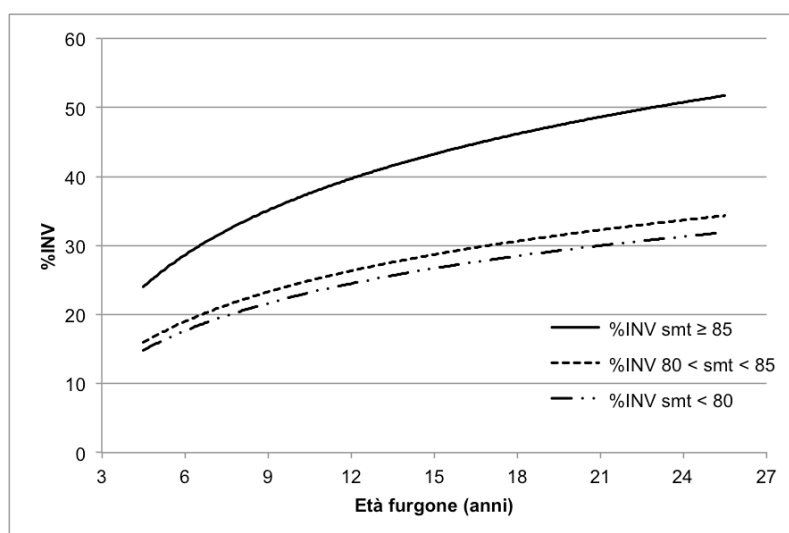


Grafico 3.5a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito allo spessore medio termico

Il grafico G.3.5a evidenzia come, considerando i bassi valori del parametro, l'andamento dell'invecchiamento sia indipendente da esso, mentre qualora si superi il valore indicativo di 85 [mm], anche lo spessore medio termico possa essere considerato come fattore rilevante nell'invecchiamento. Le possibili cause di questo ambiguo andamento non si riescono a definire in modo chiaro essendo le troppe le variabili in gioco.

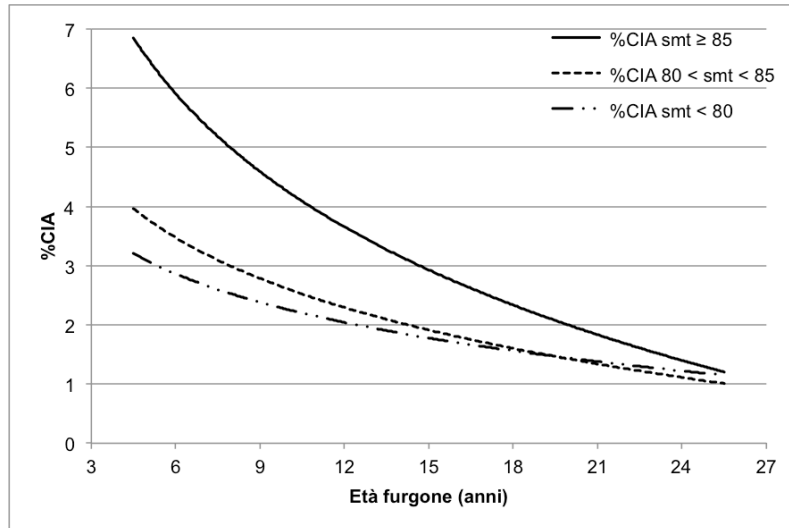


Grafico 3.5b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito allo spessore medio termico

Dal grafico G.3.5b si nota come esista una dipendenza, in riferimento alla %CIA, a seconda del valore dello spessore medio termico, e di come la curva si attesti, nei primi anni di esercizio dei veicoli, a valori tanto più bassi quanto minore è il valore di tale parametro. Come nei casi analizzati in precedenza, ad elevati valori iniziali si abbina una pendenza maggiore delle curve da cui si correla una maggiore velocità di decadimento delle proprietà isolanti.

3.6 Prodotti trasportati

I veicoli allestiti per il trasporto in regime di temperatura controllata, una volta acquistati, vengono sovente utilizzati per il trasporto del medesimo bene e con le stesse metodologie di carico e trasporto. Per tale motivo si è cercato di raggruppare le prove riferite a veicoli destinati al trasporto di beni assimilabili allo stesso genere, come in tabella T.3.6. Seguendo i concetti espressi in precedenza, si sono considerati i veicoli con gruppo frigorifero installato e privi di guidovie. Nella presente analisi, vista la varietà dei prodotti trasportati, e considerata, in alcuni casi, l'impossibilità di definire il genere alimentare e visto lo scarso numero di prove per categoria, si sono considerati

anche quei valori ottenuti da prove con esito regolare ma definite “non a regime”, altrimenti dette “prove interrotte”, come definito nel capitolo 2.

	Numero prove
Ortofrutta	434
Ittici	368
Supermercati	346
Caseari	460
Carni	329
Congelati	39

Tabella 3.6: numero di prove per l’analisi riferita alla tipologia di merce trasportata con gruppo frigorifero e senza guidovie

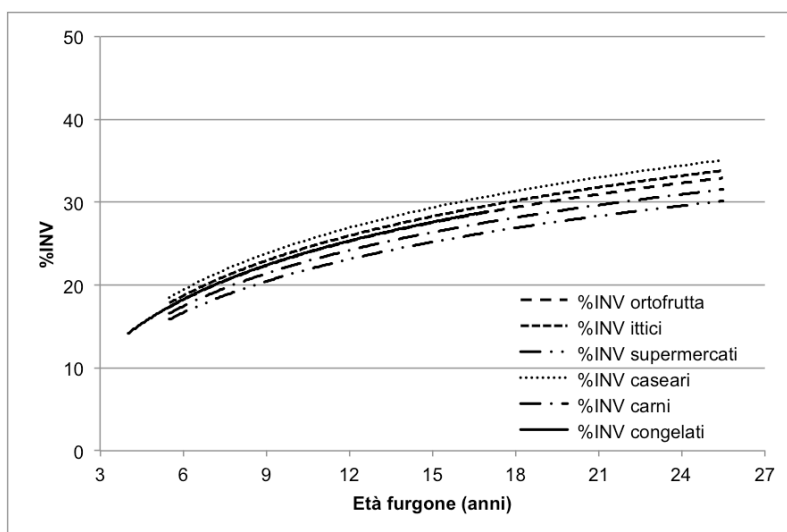


Grafico 3.6a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito alla merce trasportata

Il grafico G.3.6a riporta i veicoli adibiti al trasporto tramite pallet o scatolame, come carni e supermercati, a valori inferiori di invecchiamento, mentre, a valori crescenti le curve per veicoli che al loro interno possono essere allestiti con particolari ripiani come per i prodotti caseari e gli ortofruttili. In riferimento a quanto già presentato nel capitolo 3.2 sulla presenza delle guidovie interne, le strutture dotate di questi particolari allestimenti, a causa dell’aumento del numero di ponti termici e alle maggiori sollecitazioni meccaniche, subisce un degrado maggiore negli anni. Le figure 3.6a, 3.6b, mostrano le possibili differenze nell’allestimento interno.

Quanto i prodotti ittici e congelati la presenza di un elevato gradiente di umidità all’interno dell’ambiente può penetrare più facilmente all’interno della struttura del pannello andando di conseguenza a compromettere le capacità isolanti della schiuma espansa.



Figura 3.6a: es. veicolo per trasporto di prodotti ittici



Figura 3.6b: es. interno con ripiani per formaggi

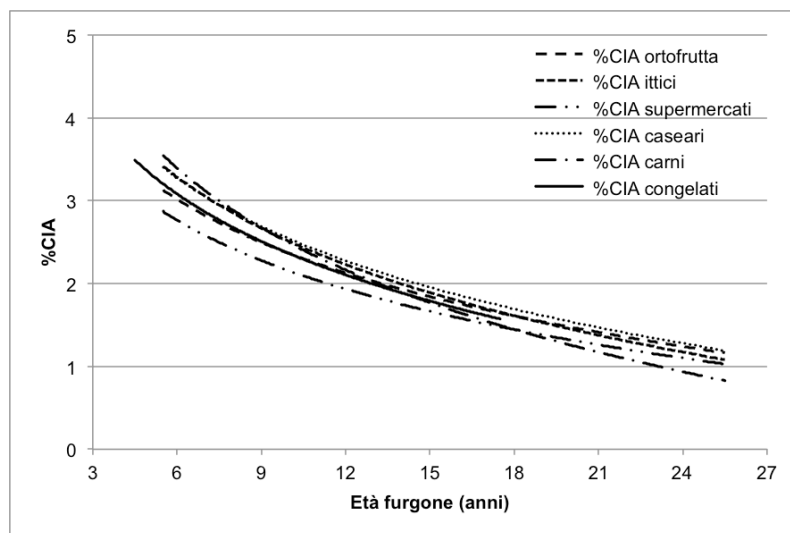


Grafico 3.6b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito alla marce trasportata

Quanto l'andamento della %CIA, dal grafico G.3.6b, si conferma quanto appena riportato: veicoli che presentano %INV più elevate hanno valori di partenza per l'invecchiamento annuo più elevato con pendenza della curva maggiore (caseari, ittici, ecc.) rispetto a quelli con invecchiamento percentuale più basso (carni, supermercati), a cui corrisponde una minore vita in esercizio.

3.7 Destinazione e uso

Il Codice della Strada italiano prevede due principali destinazioni per i veicoli atti al trasporto di merci: “uso proprio” e “conto terzi”. Il primo è quel trasporto effettuato per finalità proprie dell’azienda, ad esempio: un produttore del bene utilizza un veicoli di proprietà per il trasporto dei propri prodotti; il conto terzi è quel trasporto effettuato per conto di un terzo a scopo di lucro, ad esempio: un produttore affida ad una società esterna il compito di ritirare e consegnare la merce al cliente finale. Per valutare se la diversa finalità del trasporto possa influire sui parametri di invecchiamento si sono divise le due categorie, considerando veicoli con gruppo frigo e privi di guidovie, come nelle analisi precedenti.

	Numero prove
Uso Proprio	1186
Conto Terzi	1048

Tabella 3.7: numero di per l’analisi riferita alla destinazione del veicolo con gruppo frigorifero e senza guidovie

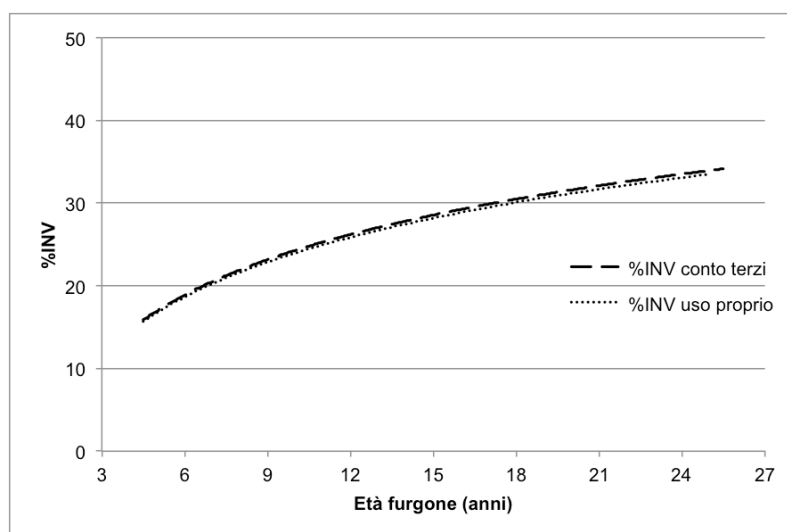


Grafico 3.7a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito alla destinazione d’uso del veicolo

Dal grafico G.3.7a, si nota che l’andamento dell’invecchiamento non è funzione della destinazione d’uso dei veicoli, mentre dal grafico G.3.7b, si può notare come l’invecchiamento annuo per i veicoli in conto terzi sia leggermente inferiore a quello dell’uso proprio e che la relativa pendenza sia allo stesso modo più bassa.

Non si può, dunque, definire una precisa causa essendo presenti troppe variabili tra i campioni, in particolar modo se si considera la tipologia di merce trasportata. Risulta tuttavia probabile che un “uso proprio” sia destinato nella maggior parte dei casi al

trasporto della medesima merce poiché il trasportatore ricopre anche la veste di produttore. Riferendosi a quanto già espresso al capitolo 3.6 la curve assumono tale ordine nella %CIA in quanto è più probabile che prodotti come formaggi, ittici e ortofrutta vengano trasportati in uso proprio, mentre il conto terzi si abbina facilmente al trasporto per supermercati ove il trasporto nella maggior parte dei casi è in colli pallettizzati.

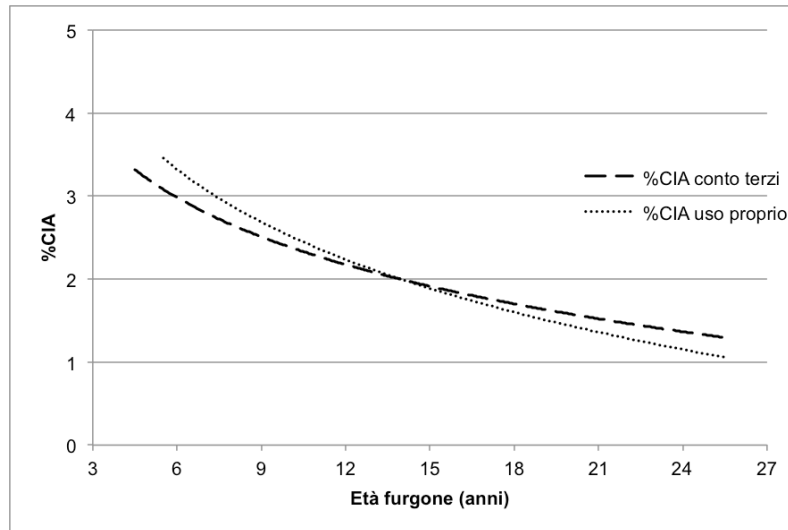


Grafico 3.7b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie riferito alla destinazione d'uso del veicolo

3.8 Costruttore

La qualità costruttiva “QC”, assunta standard nel capitolo 2 pari a 0,69 , non è da considerarsi corretta nei casi reali. Allo scopo di valutare se le competenze, le capacità e la qualità di un allestitore si ripercuota anche nel tempo, si sono individuati gli allestitori che hanno presentato a prova il maggior numero di veicoli. Una volta individuati, l’analisi si è concentrata su particolari categorie di veicoli al fine di ridurre le variabili; si sono dunque presi in considerazioni i dati riferiti ai soli veicoli muniti di gruppo frigorifero, senza guidovie, di lunghezza minore o uguale a 6,5 [m], provati nell’intervallo compreso tra il quinto e il diciannovesimo anno in servizio.

Costruttore	Numero prove	Costruttore	Numero prove
A5	88	B4	186
B1	33	B6	77
B2	128	B9	111

Tabella 3.8: numero di prove a disposizione per l’analisi riferita al costruttore

Dai grafici G.3.8a e G.3.8b, si nota come, a partire da una sostanziale differenza nella qualità costruttiva del prodotto, che si evince dalla distanza tra le curve di tendenza al sesto anno, una struttura con elevati standard qualitativi ad inizio vita, è garanzia negli anni nel mantenimento di migliori proprietà isolanti, con relativi benefici quanto il termine di vita utile del veicolo e i risparmi in termini di mantenimento delle condizioni termiche all'interno della cassa durante il trasporto. Si consideri l'aumento del consumo di energia necessario per mantenere il vano di carico alla temperatura imposta qualora le proprietà isolanti siano scadenti.

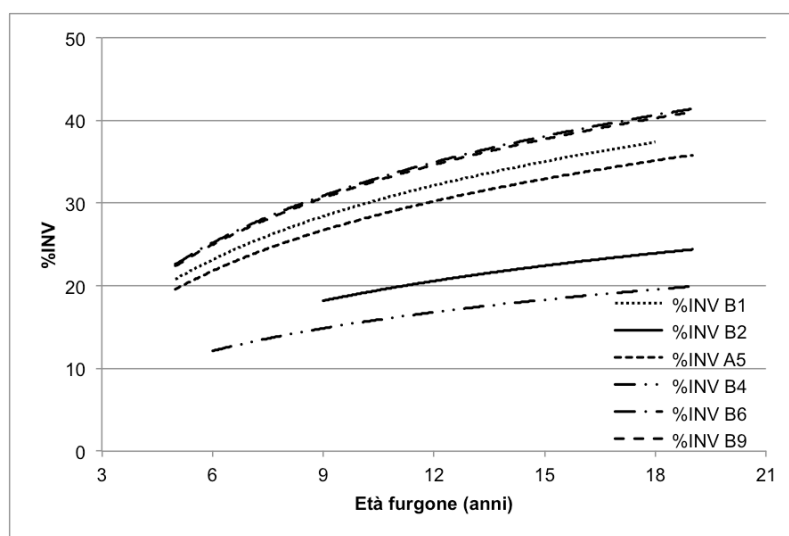


Grafico 3.8a: andamento %INV per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie testati entro il 19esimo anno di lunghezza utile minore di 6,50 m

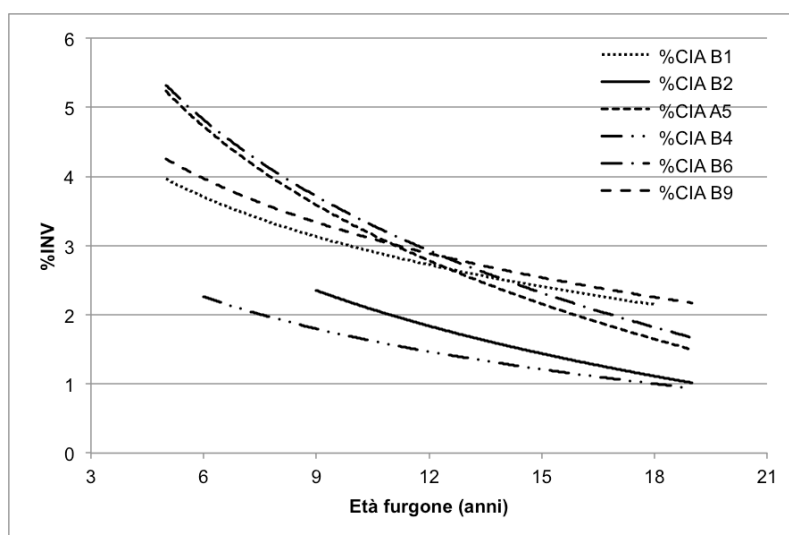


Grafico 3.8b: andamento %CIA per veicoli con gruppo frigorifero e privi di guidovie testati entro il 19esimo anno di lunghezza utile minore di 6,50 m

3.9 Piastre eutettiche

I veicoli adibiti al trasporto di surgelati e gelati, come descritti al capitolo 1, sono dotati di un particolare allestimento che li differenzia in modo sostanziale rispetto ai veicoli considerati nei paragrafi precedenti.

Le piastre eutettiche vengono sfruttate in questi veicoli come “fonte di freddo” al fine di garantire temperature interne oltre i -20°C . Questi veicoli sono inoltre costruiti con spessori rafforzati (maggiori) e le dimensioni complessive del veicolo sono contenute, lunghezza interna massima di 8,00m e di 5,00, in media, rispetto ad un veicolo per trasporto di prodotti definiti “freschi” come visto nei capitoli precedenti

La particolare struttura del veicolo e la piccola nicchia di mercato a cui si rivolgono questi veicoli, ha portato al monopolio nelle vendite in Italia di due costruttori, identificati in seguito con “E2” ed “E6”.

In questo paragrafo si sono raccolti i dati riferiti alle prove su veicoli dei menzionati costruttori facendo distinzione tra trasporto di surgelati e gelati; risulta fondamentale questa distinzione in quanto la qualità del bene da consegnare al consumatore finale, in particolare quando si pensa al gelato, necessita del mantenimento continuo di specifiche condizioni termiche durante tutta la catena del freddo. I dati in esame sono riferiti a prove effettuate fino al diciannovesimo anno di età.

Costruttore	Numero prove	
	Gelato	Surgelato
E2	71	43
E6	93	29

Tabella 3.9: numero di prove a disposizione per l'analisi riferita al costruttore e al prodotto trasportato



Figura 3.9a: veicolo per trasporto di gelati e surgelati



Figura 3.9b: interno con piastre eutettiche

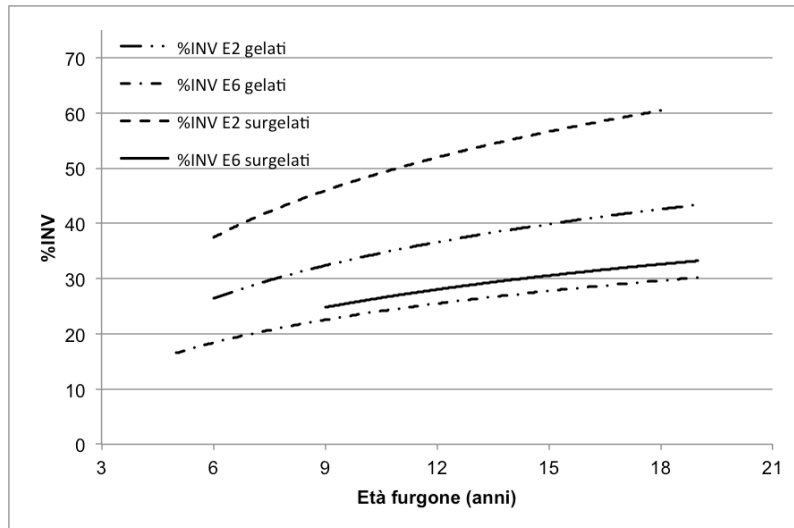


Grafico 3.9a: andamento %INV per veicoli con piastre eutettiche adibiti al trasporto di gelati e surgelati suddivisi per costruttore entro il 19esimo anno di età

Si nota dal grafico G.3.9a la sostanziale differenza nella qualità costruttiva tra E6 ed E2. Mentre per il costruttore E2 le curve di tendenza divergono molto nel tempo a seconda del prodotto, per il costruttore E6 queste rimangono parallele per un lungo tratto, da cui si avvalorava quanto detto al paragrafo 3.8: ad elevati standard costruttivi iniziali elevati, si accompagna un invecchiamento contenuto negli anni. L'andamento ricavato dal grafico G.3.9b, invece, mette in evidenza come l'andamento della %CIA sia funzione del prodotto trasportato indipendentemente del costruttore. La curva dei surgelati, infatti, ha una pendenza maggiore. Si può presumere che, vista la necessità di garantire al consumatore per il gelato un prodotto di alta qualità, i veicoli trasportanti tali generi alimentari siano sottoposti a manutenzione più rigorosa.

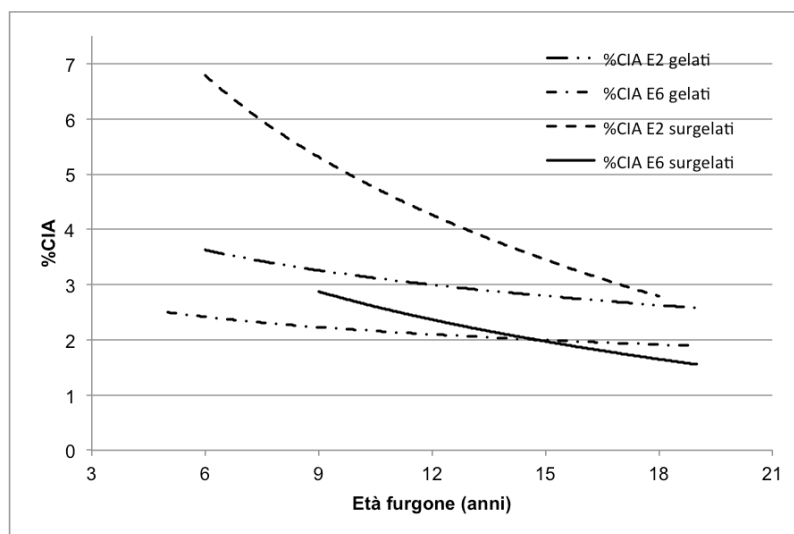


Grafico 3.9b: andamento %CIA per veicoli con piastre eutettiche adibiti al trasporto di gelati e surgelati suddivisi per costruttore entro il 19esimo anno di età

CAPITOLO 4 – Nuovi espandenti

Con il Protocollo di Montreal (1996), anche in Europa, è stato bandito l'utilizzo di CFC, clorofluorocarburi, e HCFC, idroclorofluorocarburi, come gas espandenti per le schiume poliuretatiche che costituiscono il cuore del pannello sandwich utilizzati per allestire i veicoli isotermici.

Con il protocollo di Copenaghen (CE 2037/2000) del 29/06/2000 è stato fissato a 01 Gennaio 2003 il bando dell'utilizzo del R141b come espandente, in sua sostituzione è stato introdotto l'utilizzo del ciclopentano, idrocarburo molto infiammabile che a temperatura ambiente si presenta come liquido incolore e caratterizzato da una conducibilità termica più elevata rispetto al precedente.

Al fine di valutare l'effetto sulla qualità costruttiva e sull'invecchiamento, relativo a questo cambiamento, si sono confrontate delle prove relative all'utilizzo dei diversi espandenti; si sono considerate solamente prove effettuate su casse prive di guidovie con gruppo frigorifero la cui prova è stata sostenuta entro il decimo anno di messa in servizio. Non sono state considerate prove antecedenti al 1995 in quanto a partire dal 1994 è stato bandito un altro espandente, R11, utilizzato fino a quella data con le stesse funzioni.

Periodo costruzione	Numero prove	Espandente
2003-2014	51	Ciclopentano
1995-2003	221	R141b

Tabella 4: numero di prove a disposizione per l'analisi riferita all'utilizzo di diversi espandenti

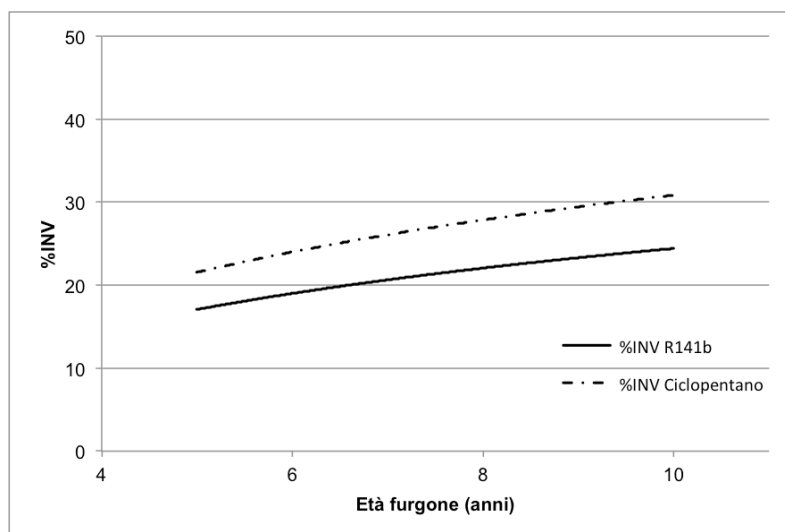


Grafico 4a: andamento %INV per veicoli costruiti con diverso espandente

Dal grafico G.4a si può notare in via preliminare, viste le poche prove a disposizione, come le schiume a ciclopentano influiscano in senso negativo sia sulla qualità costruttiva iniziale sia sulle proprietà isolanti a lungo termine. Si noti come a partire da uno scarto iniziale, al sesto anno di circa il 10%, le curve divergono molto nel breve periodo arrivando ad una differenza del 6-7% al solo decimo anno di età.

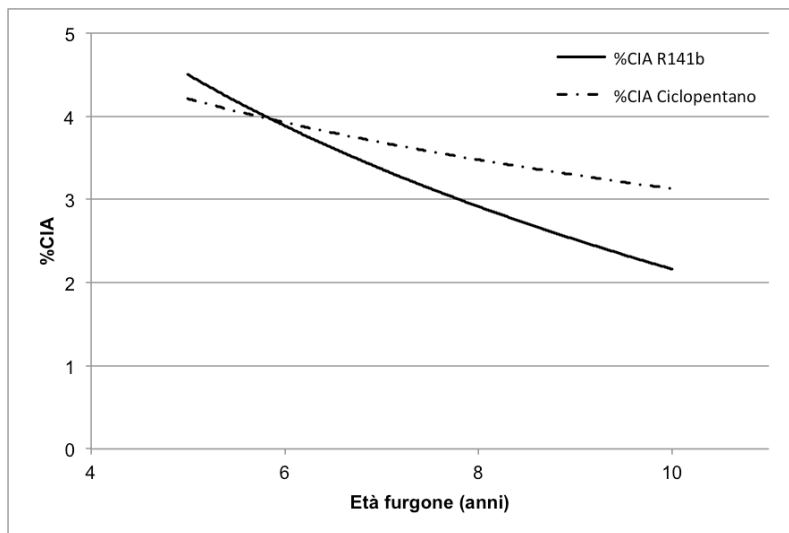


Grafico 4b: andamento %CIA per veicoli costruiti con diverso espandente

Osservando il grafico G.4b si nota come, anche se inizialmente la curva dei nuovi espandenti sia posizionata sotto quella del R141b, già al sesto anno, l'andamento si inverte e la pendenza rimane molto bassa. Dallo stesso si deduce che, rimanendo il valore dell'invecchiamento annuo elevato per lungo tempo, le proprietà isolanti, per le schiume a ciclopentano, andranno a scomparire in un lasso di tempo inferiore rispetto ai precedenti espandenti, riducendo di conseguenza la vita in esercizio della cassa e richiedendo maggiore lavoro al gruppo frigo, qualora fosse provvisto, per mantenere la temperatura al di sotto di un certo limite.

Conclusioni

A fronte di una grande dispersione di dati, vista la numerosità dei costruttori, delle dimensioni dei veicoli e delle diverse peculiarità strutturali, con lo studio esposto basato su un campione di dati utili rilevante, più di 3000 prove, si è cercato di dimostrare che alcune ipotesi derivanti dall'esperienza sul campo e/o da semplici considerazioni teoriche, trovano riscontro in un'analisi di dati ottenuti da prove di laboratorio.

Si è rilevato che alcune caratteristiche costruttive possono influenzare sia l'invecchiamento, e la relativa velocità, che la qualità costruttiva della cella isolata; si è potuto distinguere l'andamento a seconda: delle caratteristiche della semplice cassa isolata, dalla presenza di particolari accessori e dalla tipologia di trasporti effettuati.

Si è evidenziato che: all'aumentare della lunghezza utile interna la percentuale di invecchiamento si abbassi mentre, ad un aumento del numero di aperture, del relativo perimetro e dello spessore medio termico, corrisponda un effetto opposto. Non si è, invece, potuta definire una reale dipendenza in funzione del rapporto tra superficie complessiva della cassa e volume.

Quanto gli accessori, una forte penalizzazione può derivare dalla presenza del gruppo frigorifero, delle guidovie per ganci e dei ripiani interni, i quali, oltre ad essere fonte di innumerevoli ponti termici, sono causa di sollecitazioni meccaniche di tipo dinamico e a fatica durante il trasporto, a cui si correla un precoce degrado delle schiume espandenti. Allo stesso modo, anche la tipologia del prodotto trasportato può influire sulle capacità isolanti, le quali dipendono dalle condizioni, spesso obbligatorie per legge, di trasporto del bene stesso, come umidità, temperatura, tipologia del collo.

Non si è potuta definire una dipendenza dell'invecchiamento rispetto a parametri come destinazione ed uso del veicolo mentre si è potuta esaminare la forte dipendenza rispetto alla qualità costruttiva dell'allestitore. Questa, infatti, oltre a definire uno scarto ben visibile nei primi anni di utilizzo, influenza l'andamento dell'invecchiamento a lungo termine. Ad una bassa qualità costruttiva corrisponde elevato e rapido invecchiamento. Dai risultati ottenuti si rileva come una perdita precoce delle proprietà isolanti possa portare a rilevanti danni a livello economico, legati alla riduzione della vita in esercizio del bene e alla maggiorazione dei costi relativi a manutenzione ed esercizio. A tal proposito si deduce che l'adozione del ciclopentano, come gas espandente per le schiume, non ha portato benefici in tal senso, anzi, si può già supporre che i veicoli costruiti dopo il 2003 avranno una vita utile di esercizio inferiore rispetto ai precedenti.

Bibliografia

- [1] O. Alberti, “*Analisi statistica sull’evoluzione delle proprietà isolanti di varie categorie di veicoli coibentati*”. Tesi di laurea. Relatore E. Fornasieri. Istituto di Fisica Tecnica, Università di Padova, A.A. 1996-1997.
- [2] M. Amantia, “*Invecchiamento di gruppi frigoriferi su mezzi stradali per trasporto in regime di temperatura controllata*”. Tesi di laurea. Relatore G. Lozza. Politecnico di Milano, A.A. 2002-2003.
- [3] F. Angrilli, “*Corso di misure meccaniche, termiche e collaudi*”. Volume 1. Cedam Padova, 2005.
- [4] E. Biagetti, “*Rilascio e rinnovo dell’attestato ATP*”. Egaf Edizioni, Forlì (FC), 2014.
- [5] N. Biancardi, “*Il decadimento delle proprietà isolanti del poliuretano espanso nei trasporti refrigerati: analisi teorica e dati statistici*”. Tesi di laurea. Relatore E. Fornasieri. Istituto di Fisica Tecnica, Università di Padova, A.A. 1992-1993.
- [6] C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, “*Termodinamica Applicata*”. Cleup Padova, 1992.
- [7] C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, “*Trasmissione del calore*”. Cleup Padova, 1992.
- [8] G. Comini, “*Misure di temperatura*”. Cleup Padova, 1975.
- [9] F. Favaro, “*Evoluzione nel tempo della qualità dell’isolamento nei veicoli per trasporti refrigerati*”. Tesi di laurea. Relatore E. Fornasieri. Istituto di Fisica Tecnica, Università di Padova, A.A. 1988-1989.
- [10] S. Giuri, “*Analisi statistica sulla velocità di degrado delle caratteristiche termiche dei veicoli isolati*”. Tesi di laurea. Relatore C. Zilio. Dipartimento di Fisica Tecnica, Università di Padova, A.A. 2004-2005.
- [11] A.R. Lawton, R.E. Marshall, “*Developments in refrigerated transport insulation since the phase out of CFC and HCFC refrigerants*”. International Congress of Refrigeration, Beijing 2007.
- [12] G. Panozzo, G. Minotto, “*Isolanti termici – il bilancio energetico peggiora*”. (www.itc.cnr.it/Articoli/2003_09_Panozzo.pdf). Padova 2003

Ringraziamenti

Un sincero ringraziamento al Professore Claudio Zilio e all'Ingegnere Stefano Rossi del C.N.R. di Padova per la disponibilità e la competenza messe a disposizione per la realizzazione del presente studio.

Un GRAZIE ai miei genitori, Claudio e Marilisa, per la vostra incommensurata fiducia e inossidabile appoggio. Non riuscirò mai a ripagare tanto amore.

Un grazie ad Anna per la gioia che trasmetti in casa ogni giorno e la pazienza nelle giornate negative. Hai portato e porti una ventata di freschezza con la tua spensierata giovane età.

Un particolare ringraziamento a Silvia e Diego, il vostro sostegno mi ha aiutato a raggiungere l'obiettivo e a crescere come uomo.

Un grazie a tutti gli amici, attuali e storici, per essere al mio fianco con alti e bassi ma che in fondo sento sempre vicini.

Un ringraziamento a tutti coloro che mi hanno sostenuto nell'affrontare le difficoltà, gli alti e bassi, i periodi tristi e quelli felici, con la speranza di trovare ancora persone come Voi.