

# UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA

---

*Facoltà di Ingegneria*

*Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica*

*Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni meccaniche,  
Nucleari, Aeronautiche e di Metallurgia*

*Tesi di Laurea in*

**INGEGNERIZZAZIONE DI PRODOTTO M**

---

## ***Ottimizzazione del processo di imballaggio di riuniti odontoiatrici***

---

**TESI DI**

*Luca Contavalli*

**RELATORE**

*Chiar.mo Prof. Ing. Alfredo Liverani*

**CO-RELATORI**

*Chiar.mo Prof. Ing. Gianni Caligiana*

*Ing. Lorenzo Tittarelli*

*Dr. Giacomo Casarini*

---

**Anno Accademico 2011-2012**

**Sessione II**

# INDICE

1	INTRODUZIONE AL SETTORE DELL'IMBALLAGGIO.....	12
1.1	Definizione di imballaggio.....	12
1.2	Le funzioni dell'imballaggio.....	13
1.2.1	Le funzioni di impiego e riciclaggio .....	13
1.3	La collocazione dell'imballaggio nel ciclo logistico della distribuzione .	14
1.3.1	La distribuzione fisica delle merci .....	14
1.4	Le sollecitazioni subite dagli imballaggi.....	15
1.5	Il peso economico dell'imballaggio .....	16
2	CHE COS' E' UN RIUNITO ODONTOIATRICO .....	22
2.1	I principali organi del riunito odontoiatrico.....	22
3	IMBALLAGGIO IN CEFLA DENTAL GROUP.....	26
3.1	La politica aziendale.....	26
3.1.1	Come sono strutturati i colli di spedizione .....	27
3.2	Modalità di Spedizione.....	28
3.3	Le fasi di imballaggio.....	29
3.4	I costi dell'imballaggio.....	36
3.4.1	Il costo della materia prima .....	36
3.4.2	Il costo della manodopera .....	37
3.4.3	Costo totale unitario .....	37
4	LA DINAMICA VERTICALE DEL VEICOLO [3].....	38
4.1	Introduzione al problema.....	38
4.2	Un modello elementare per la dinamica verticale del veicolo.....	39
4.3	Effetto delle masse non sospese .....	51
4.4	Un modello a quattro gradi di libertà.....	58
4.5	Applicazione del modello al caso in esame .....	63
5	LE PROTEZIONI DAGLI URTI E DALLE VIBRAZIONI [1] .....	66
5.1	Le sollecitazioni meccaniche legate all'ambiente .....	66
5.1.1	Sollecitazioni di movimentazione.....	66

5.1.2	Sollecitazione di magazzinaggio.....	67
5.1.3	Sollecitazioni di trasporto .....	68
5.1.4	Nozione di rischio .....	69
5.1.5	Scelta del livello di protezione .....	70
5.2	Fragilità degli oggetti imballati.....	70
5.2.1	Fragilità di struttura e fragilità di superficie .....	70
5.2.2	Fragilità agli urti.....	70
5.2.3	Fragilità alle vibrazioni .....	74
5.3	Determinazione sperimentale delle curve di ammortizzamento dei materiali.....	75
5.4	Scelta e dimensionamento dei rivestimenti ammortizzanti. Protezione dagli urti.....	76
5.4.1	Criterio della velocità critica .....	76
5.4.2	Criterio dell'accelerazione critica .....	76
5.4.3	Verifica della protezione dalle vibrazioni .....	77
6	ANALISI DELLA CRITICITA' .....	80
6.1	Bacinella .....	80
6.1.1	Come viene protetta attualmente .....	80
6.1.2	Quali sono le criticità .....	81
6.2	Il gruppo idrico.....	83
6.2.1	Come viene protetto attualmente .....	83
6.2.2	Quali sono le criticità .....	84
6.3	Braccio fisso e braccio pantografo .....	85
6.3.1	Come vengono protetti attualmente .....	85
6.3.2	Quali sono le criticità .....	86
6.4	La tavoletta medico .....	87
6.4.1	Come viene protetto attualmente .....	87
6.4.2	Quali sono le criticità .....	88
6.5	La cassetta degli allacciamenti .....	88

6.5.1	Come viene protetta oggi .....	89
6.5.2	Quali sono le criticità .....	89
6.6	Riepilogo delle criticità.....	90
7	ANALISI ECONOMICA DELLE CRITICITA' .....	92
7.1	Separazione e stima dei costi sostenuti .....	92
8	ANALISI GLOBALE DELLE PROPOSTE .....	96
8.1	Analisi dimensionale del pallet.....	96
8.1.1	Riduzione dimensionale del pallet .....	97
8.1.2	Autoload Pro 2008 [4].....	98
8.1.3	Benefici ottenibili in termini di occupazione del volume.....	106
8.1.4	Risparmio economico ottenibile .....	109
8.1.5	Come alloggiare il riunito sul Pallet ridotto.....	113
8.1.6	Riduzione della scatola del corredo .....	114
8.1.7	Test di riempimento della scatola modificata .....	115
8.1.8	Posizione della cassetta degli allacciamenti .....	116
8.2	Introduzione di indicatori d'urto [8].....	117
8.2.1	Come funziona.....	117
8.2.2	Gamma dei prodotti .....	118
8.2.3	Scelta del prodotto più idoneo .....	122
8.2.4	Studio di fattibilità .....	124
8.3	Bloccaggio del carrello nella postazione di imballo .....	124
8.3.1	Studio di fattibilità .....	127
8.4	Inserimento del cappuccio al perno porta tray .....	127
8.4.1	Studio di fattibilità .....	128
9	STUDIO DI FATTIBILITA' PER L'UTILIZZO DI MATERIALE ALTERNATIVO ...	131
9.1	Caratteristiche tecniche [5].....	131
9.2	Mondaplen tech tc1200 [6].....	132
9.2.1	Caratteristiche tecniche .....	133
9.2.2	Caratteristiche generali.....	133

9.2.3	Elementi principali della TC1200.....	134
9.3	Sintesi della gamma dei prodotti mondaplen.....	137
9.4	Proposta di utilizzo.....	138
9.4.1	Materiali di consumo oggi utilizzati .....	138
9.4.2	Specifiche del MONDAPLEN come materiale sostitutivo.....	141
9.4.3	Dove verrebbe utilizzato il MONDAPLEN .....	143
9.5	Analisi dei costi .....	146
9.5.1	Costi attuali dei materiali che andrebbero sostituiti .....	146
9.5.2	Costo del MONDAPLEN BARE WAVE 20 A 33 : .....	148
9.5.3	Considerazioni .....	151
9.5.4	Riepilogo sull' introduzione del MONDAPLEN .....	152
10	Utilizzo di materiali non convenzionali .....	153
10.1	Il Poliuretano .....	153
10.1.1	Gli effetti dannosi del Poliuretano .....	154
10.2	Inflatable Packaging.....	154
10.2.1	Sistema Air-Bag per l' intero riunito.....	155
10.2.2	Sistema a tubolare gonfiabile per la protezione interna .....	157
11	CONCLUSIONI.....	159
12	BIBLIOGRAFIA.....	161
13	APPENDICE .....	163
13.1	ALLEGATO A:.....	163
	TABELLA Microsoft Excel per calcolo spedizioni .....	163

## **SOMMARIO**

La mia attività di tesi è stata svolta presso **CEFLA Dental Group** di Imola (BO). Essa ha trattato lo studio e il re-engineering del sistema attuale di imballaggio dei riuniti odontoiatrici ( vedi CAP 2 ),ponendo particolare attenzione all'utilizzo di materiali ecosostenibili e alla riduzione di tempi e costi.

Il mio lavoro è stato suddiviso in quattro fasi ben distinte:

la prima, all'interno dell'area produttiva, è servita per analizzare in dettaglio le varie fasi di montaggio dei gruppi e sottogruppi di alcuni modelli di riuniti dentali scelti come riferimento.

A seguire, affiancato a operatori specializzati, ho assistito alle operazioni di imballaggio, stoccaggio in magazzino e carico.

Nella seconda fase, ho raccolto anche una serie di informazioni utili all'analisi, tra cui i costi dei vari elementi dell'imballo, i tempi necessari all'operatore e infine lo storico dei reclami degli ultimi anni.

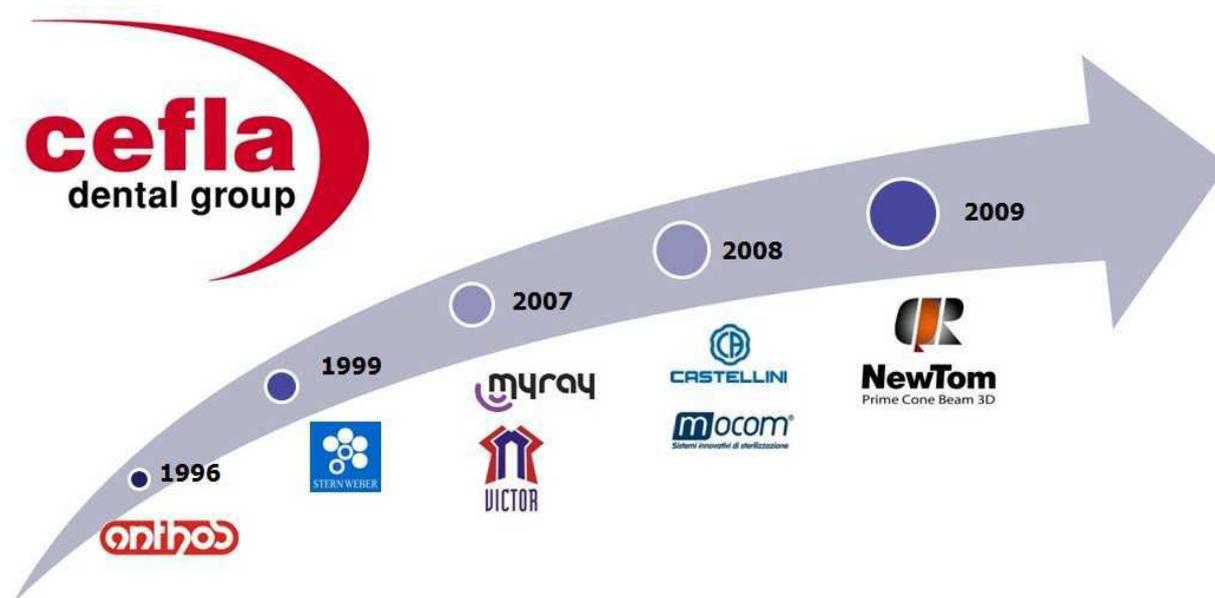
Ho poi selezionato gli aspetti critici più ricorrenti.

Durante la terza fase, ho eseguito la vera e propria analisi, proponendo alcune soluzioni di miglioramento.

Infine nell'ultima fase ho valutato economicamente le varie soluzioni ipotizzate, focalizzandomi inoltre sui tempi di manodopera.



## CEFLA DENTAL GROUP



CDG 1

Cefla Dental Group nasce negli anni 90 con l'acquisizione da parte del Gruppo CEFLA di Anthos, marchio storico e produttore di riuniti odontoiatrici situato a Imola.

L'anno 1999 vede l'acquisizione di Stern Weber e nel 2007 segue quella di un produttore cinese, Victor Dental nell'ottica di incrementare la gamma prodotti in vista del potenziale dei mercati emergenti asiatici. Acquisizione nel 2008 del noto marchio italiano, Castellini, seguita dall'ingresso nel gruppo di Mocom, produttore di apparecchiature per la sterilizzazione, completa una recente serie di manovre strategiche.

Nel 2007, la costituzione del brand MyRay (dispositivi imaging e sistemi di radiologia digitali) segna il consolidamento di un decennio dedicato allo sviluppo di sistemi di imaging per il settore dentale.

Nel 2009 l'acquisizione di QR Imaging completa la gamma dei sistemi di radiologia, di alta fascia.

Oggi, Cefla Dental Group ha rafforzato la sua posizione di leader nei paesi del bacino mediterraneo.

**Anthos**, primo produttore Italiano di riuniti dentali, offre prodotti creati per dare al professionista il modello più adatto al proprio modo di operare.

Ampia scelta, design, qualità riconosciuta e funzionalità sono i valori chiave di questa marca che in 60 anni di storia ha conquistato la professione odontoiatrica in tutto il mondo.

Anthos si rivolge alla categoria degli odontoiatri, soprattutto per via dell'ampiezza della gamma e della stessa versatilità di ogni riunito. Offre il design accattivante tipico di un marchio Italiano e ha come target il professionista che cerca uno strumento di lavoro funzionale che ha il giusto valore all'interno del contesto economico della sua attività.

**Stern Weber** offre prodotti creati per enfatizzare le capacità professionali del dentista e permettere alla sua professionalità di esprimersi al meglio.

Brand all'avanguardia nella ricerca di soluzioni e tecnologie sempre più funzionali a supporto della competenza del dentista e del suo rapporto con il paziente, Stern Weber rappresenta un vero partner per lo studio di successo.

Stern Weber è un brand di status e la sua esclusività è percepita come tale da chi investe nella propria professione: un prodotto Stern Weber rappresenta il benchmark e deve essere concepito come misura del successo, della competenza e dell'autorevolezza del professionista che lo sceglie. L'adesione alla marca è guidata dall'aspirazione ad identificarsi con il "modello" del dentista la cui expertise e capacità sono inequivocabilmente riconosciute.

**MyRay** è un brand innovativo che promette un'imaging digitale comodamente alla portata di ogni dentista.

Attraverso la sua genialità applicativa, offre nuovi comfort e propone le migliori tecnologie disponibili per la diagnosi radiologica: strumenti concepiti per chi ricerca innovazione e velocità, design e prestazioni.

Ogni prodotto MyRay è concepito per dare al dentista nuove soluzioni funzionali per il suo workflow attraverso una "genialità applicativa". MyRay si distingue dai concorrenti attraverso soluzioni caratterizzate da funzionalità, ergonomia, creatività, intelligenza, semplicità. MyRay avvicina il dentista alla radiologia e all'imaging digitale perché traduce le sue esigenze in reali soluzioni che rendono la fase diagnostica un'esperienza caratterizzata da semplicità e comodità operativa.

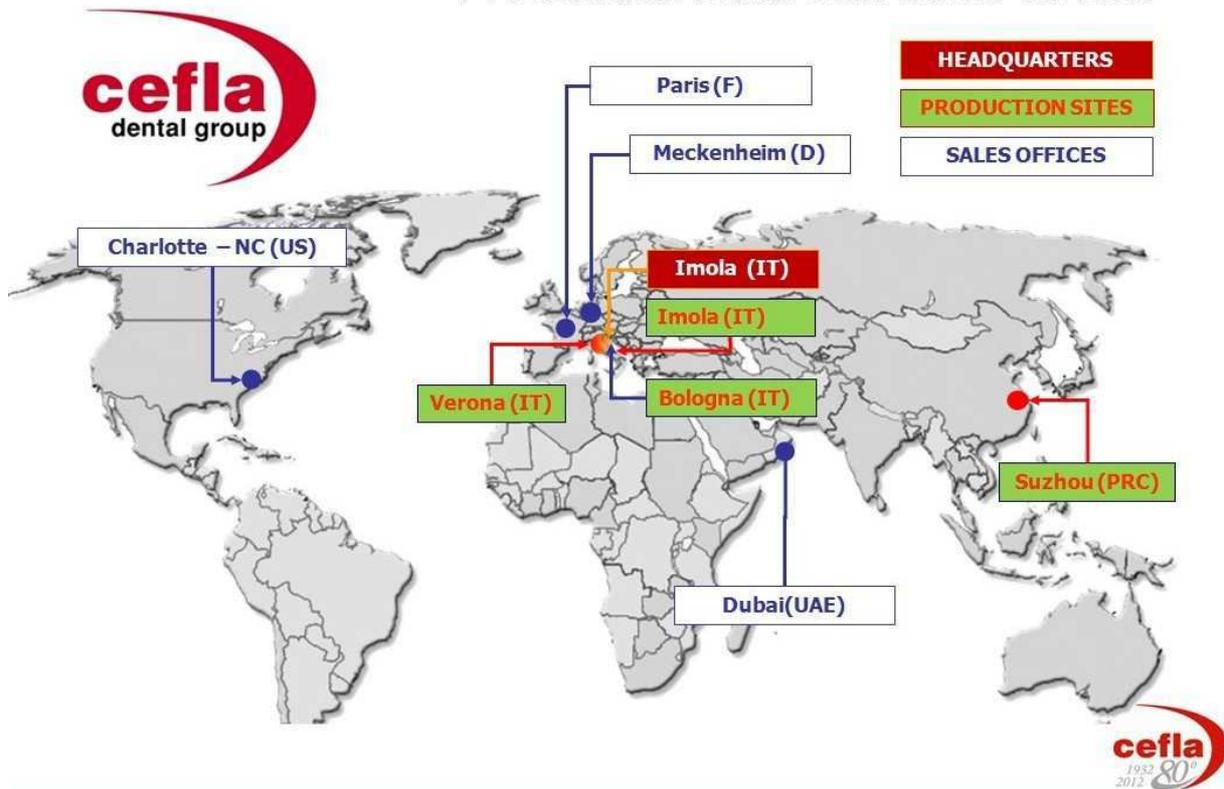
Con oltre 30 anni di esperienza nella fabbricazione di riuniti odontoiatrici, **Victor** propone una gamma in continua crescita di riuniti estremamente affidabili, progettati per rispondere alle esigenze attuali dei professionisti del settore odontoiatrico nei mercati in via di rapido sviluppo. Parte di Cefla Dental Group, i prodotti Victor ora beneficiano dell'integrazione di moderne tecnologie e gli ultimi aspetti di design per fornire i dentisti con sistemi ad alte prestazioni che incorporano materiali costruttivi selezionati, soluzioni ergonomiche, con un ottimo rapporto qualità-prezzo.

Azienda storica, **Castellini** costituisce un riferimento a livello mondiale nel campo dei complessi odontoiatrici, in particolare per quanto riguarda lo sviluppo di sistemi di disinfezione e di sterilizzazione nonché in ambito ergonomico.

Azienda con tradizione di elevata tecnologia e professionalità, **MOCOM** srl costituisce un riferimento a livello internazionale nel campo della sterilizzazione per il settore odontoiatrico. Mocom è specializzata nella produzione di autoclavi per il settore dentale e medicale. Un'azienda in costante crescita, grazie alle importanti attività di ricerca e sviluppo che hanno portato a una gamma di prodotti di qualità superiore in termini di sicurezza e prestazioni. L'expertise di MOCOM nella sterilizzazione per uso medico, con oltre 55.000 autoclavi installate in Europa e nel mondo, ha permesso in oltre 20 anni di attività il consolidamento della propria posizione di azienda leader.

**QR s.r.l.** (Quantitative Radiology) è un'azienda di Verona che dal 1996 opera nel campo della Radiologia Odontoiatrica Digitale 3D ed è nota per la produzione e commercializzazione della linea di CBCT medicali denominata NewTom.

## Production sites and sales offices



CDG 2

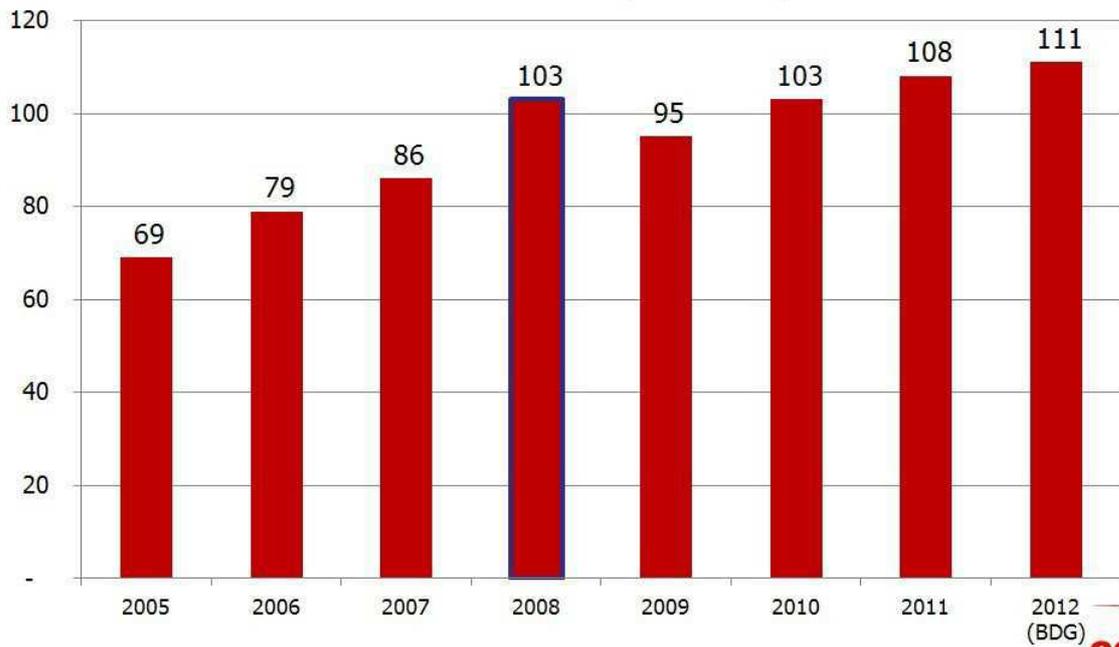
## Dental Division: business areas and brands



CDG 3

# Cefla Dental Group

## CDG TURNOVER (€ Million)



CDG 4

# 1 INTRODUZIONE AL SETTORE DELL'IMBALLAGGIO

Per lungo tempo considerato unicamente una funzione accessoria al prodotto, l'imballaggio ha conquistato in questi ultimi anni una posizione di primo piano nella nostra vita quotidiana. Impiegato per proteggere i prodotti, conservarli, garantirne la qualità e differenziarli, l'imballaggio ha saputo abbinare funzionalità ed attrattiva. Riconosciuto come l'arte di rivestire i prodotti, viene apprezzato soprattutto per i benefici che offre ai consumatori [1].

L'imballaggio, contrario per sua stessa natura alla generalizzazione, risponde alla necessità dei materiali e dei procedimenti tecnici impiegati.

Dal campioncino di shampoo al televisore, dai biscotti al detersivo, dall'acido solforico alla fresatrice a controllo numerico, tutti i prodotti industriali o di grande consumo vengono confezionati e imballati. Il packaging stesso è ormai una componente necessaria e integrante di tutti i processi di fabbricazione che vogliano dirsi di qualità. La sua onnipresenza nei moderni circuiti di commercializzazione per l'esportazione o la distribuzione interna si spiega con la funzione di vendita da esso espletata, in aggiunta ai ruoli tradizionali di protezione, trasporto e presentation delle merci.

## 1.1 DEFINIZIONE DI IMBALLAGGIO

Materialmente, l'imballaggio di un prodotto si può indicare come "*nel prodotto, tutto ciò che non è il prodotto stesso*". Questa definizione, che richiama i concetti di "contenitore" e "contenuto", pone in risalto l'indissociabilità del prodotto dall'imballaggio e viceversa.

Un imballaggio efficace rappresenta una necessità per quasi tutti i prodotti: gli sforzi profusi durante la fabbricazione allo scopo di ottenere un prodotto di qualità risultano del tutto vani se il prodotto non giunge all'utilizzatore finale in buone condizioni, un imballaggio specifico rappresenta il mezzo più sicuro per garantire l'integrità del prodotto fino al momento del suo impiego.

## 1.2 LE FUNZIONI DELL'IMBALLAGGIO

È indispensabile definire sin dall'inizio quale ruolo deve svolgere l'imballaggio nella catena di distribuzione, vale a dire quali sono le sue funzioni. L'utilizzatore definirà i suoi bisogni in rapporto alle funzioni che deve assolvere l'imballaggio e il fabbricante realizzerà un imballaggio in grado di assolvere alle funzioni segnalate.

Le principali funzioni dell'imballaggio si possono classificare in due gruppi: le funzioni tecniche e le funzioni di marketing, sintetizzabili entrambi in una formula lapidaria: *"L'imballaggio deve proteggere ciò che vende e vendere ciò che protegge"* (J.H. Briston). *"Imballare significa innanzitutto proteggere il prodotto contenuto durante l'intero ciclo di produzione-distribuzione-consumo. L'imballaggio infatti accompagna il prodotto dalla sua produzione fino al suo uso o consumo, e diventa spesso un elemento indissociabile dal prodotto stesso. Per questo, l'imballaggio può comunicare al consumatore una certa realtà del prodotto, e costituisce in se stesso un importante elemento del marketing mix"*. L'imballaggio implica anche un concetto di responsabilità, in quanto è depositario di una ricchezza che non gli appartiene. Tale responsabilità si esplica nello svolgimento imperativo delle sue funzioni, che analizzeremo ora in modo più approfondito.

### 1.2.1 Le funzioni di impiego e riciclaggio

Il consumatore, cliente finale da allettare, desidera che l'imballaggio sia pratico da usare.

Il packaging deve quindi agevolare l'uso del prodotto; deve poter essere aperto senza difficoltà, e presentare chiusure che permettano di estrarre facilmente il prodotto; deve essere inoltre concepito in modo da facilitare la presa (es. bottiglia d'olio provvista di un incavo per evitare che scivoli quando la si afferra) e l'immagazzinamento presso l' utilizzatore.

Ma la vita dell'imballaggio non è ancora terminata: bisogna assicurare una fine accettabile a questo servitore discreto che si è trasformato in un oggetto ingombrante, e lo si può fare attraverso il riutilizzo (che è il punto d'inizio di una nuova vita), il riciclaggio del materiale di cui è costituito, oppure, come ultima alternativa, l'incenerimento.

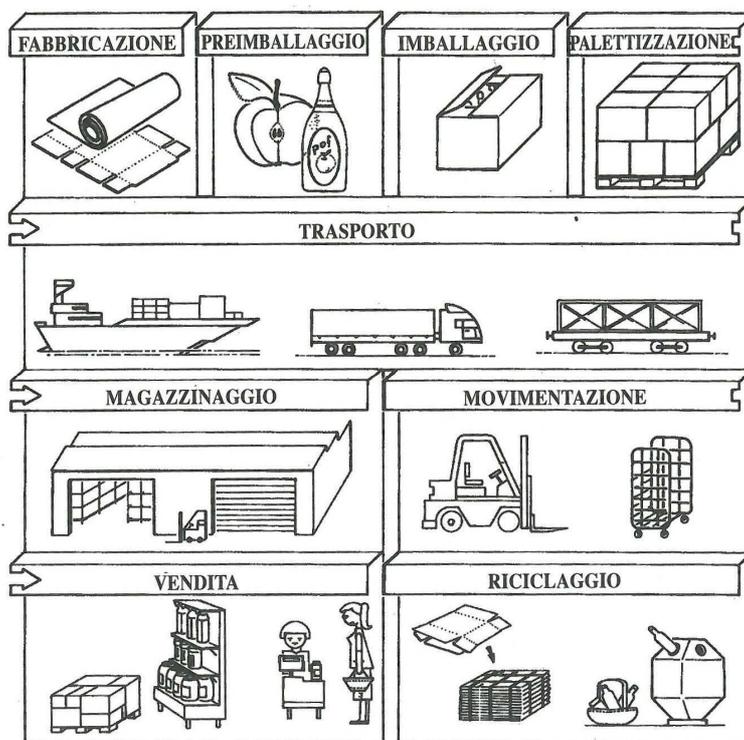
## 1.3 LA COLLOCAZIONE DELL'IMBALLAGGIO NEL CICLO LOGISTICO DELLA DISTRIBUZIONE

### 1.3.1 La distribuzione fisica delle merci

Non insisteremo mai abbastanza sul fatto che il procedimento di imballaggio va considerato parte integrante del processo di produzione. Il packaging deve dunque resistere a tutte le operazioni che vengono effettuate per assicurare che il prodotto arrivi integro fino al consumatore finale, e che si raggruppano con il nome di distribuzione fisica delle merci.

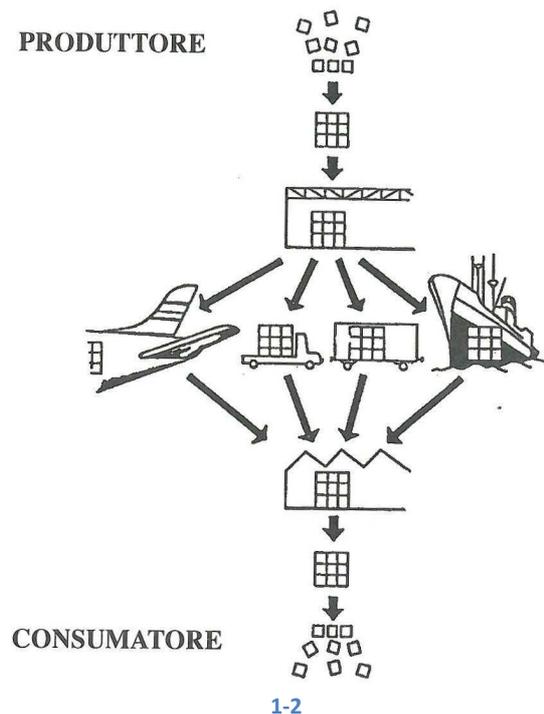
La distribuzione si presenta come un ciclo continuo, che inizia con la fabbricazione dell'imballaggio e il suo riempimento e si conclude con la presentazione del prodotto sugli scaffali dei supermercati. La figura 1.2 illustra in modo più particolareggiato il caso tipico di un prodotto distribuito in scatole di cartone ondulato.

La distribuzione fisica consta di due grandi fasi, come evidenzia la figura 1.3: una prima fase di raggruppamento dei prodotti sotto forma di carichi unitari (effettuata presso il fabbricante allo scopo di ridurre al minimo i costi di trasporto grazie alla meccanizzazione della movimentazione), e una fase successiva di suddivisione dei carichi unitari per la vendita ai consumatori.



1-1

*La distribuzione fisica nelle varie fasi della vita di un imballaggio in cartone ondulato.*



*Distribuzione fisica delle merci: fasi di raggruppamento e di suddivisione.*

## 1.4 LE SOLLECITAZIONI SUBITE DAGLI IMBALLAGGI

Dagli esempi riportati si può facilmente arguire che i prodotti imballati subiscono innumerevoli sollecitazioni durante il trasporto (stradale, ferroviario, marittimo o aereo), durante la movimentazione (al momento del carico e dello scarico) e durante lo stoccaggio in magazzino.

La maggior parte di queste sollecitazioni sono presenti, in misura più o meno accentuata, in tutti i sistemi di distribuzione. Dal punto di vista meccanico si tratta principalmente di urti, vibrazioni, compressioni, perforazioni; sotto il profilo climatico, invece, le sollecitazioni sono gli sbalzi di temperatura, la presenza di aria, vapor d'acqua, luce, etc.

Esistono poi altre aggressioni, ad esempio quelle di origine animale (insetti e roditori) o quelle causate da funghi o batteri, senza contare i furti o gli atti dolosi. Infine, i prodotti imballati possono venire imbrattati da fuoriuscite di prodotti provenienti da altri imballaggi, oppure da prodotti immagazzinati nelle immediate vicinanze. In conclusione, un buon imballaggio non si limita a ridurre al minimo il costo delle avarie, ma ottimizza anche l'insieme dei costi imballaggio + distribuzione + avarie.

## 1.5 IL PESO ECONOMICO DELL'IMBALLAGGIO

L'imballaggio è esistito in tutte le civiltà e oggi, al pari dell'automobile, fa a tal punto parte della nostra vita quotidiana che non ci rendiamo più nemmeno conto dei servizi che questo servitore discreto ed efficiente svolge per noi. Nelle civiltà primitive l'imballaggio non aveva un'importanza così rilevante, perché i prodotti venivano per lo più consumati direttamente, senza prima essere stati trasportati o scambiati. Nelle società industriali, invece, i prodotti vengono confezionati, raggruppati e poi spediti: aumenta così il consumo di imballaggi. Data la diversificazione di questa attività, risulta quindi difficile tracciarne i contorni e non sempre esistono statistiche ufficiali.

Contrariamente ad un'opinione ancora troppo diffusa, l'imballaggio non è un "gadget" inutile: al contrario, costituisce un prodotto industriale a pieno titolo che occupa una posizione importante tanto nell'economia nazionale quanto negli scambi internazionali.

Come illustra l'istogramma della figura 1.4, alcuni materiali vengono utilizzati quasi esclusivamente per l'imballaggio. D'altro canto, l'imballaggio può incidere notevolmente sul prezzo di vendita del prodotto imballato.

Il rapporto tra il prezzo dell'imballaggio e il prezzo del prodotto può variare in misura considerevole, a seconda che si tratti di un articolo di lusso oppure di un genere di prima necessità (da pochi punti percentuali fino al 200 per cento).

Se si considera la questione dal punto di vista energetico, è innegabile che la fabbricazione dei materiali da imballaggio comporta sempre un certo consumo di energia: alcuni materiali, come l'alluminio, hanno un forte contenuto energetico; altri, come la plastica o la banda stagnata, hanno un contenuto energetico inferiore (figura 1.5).

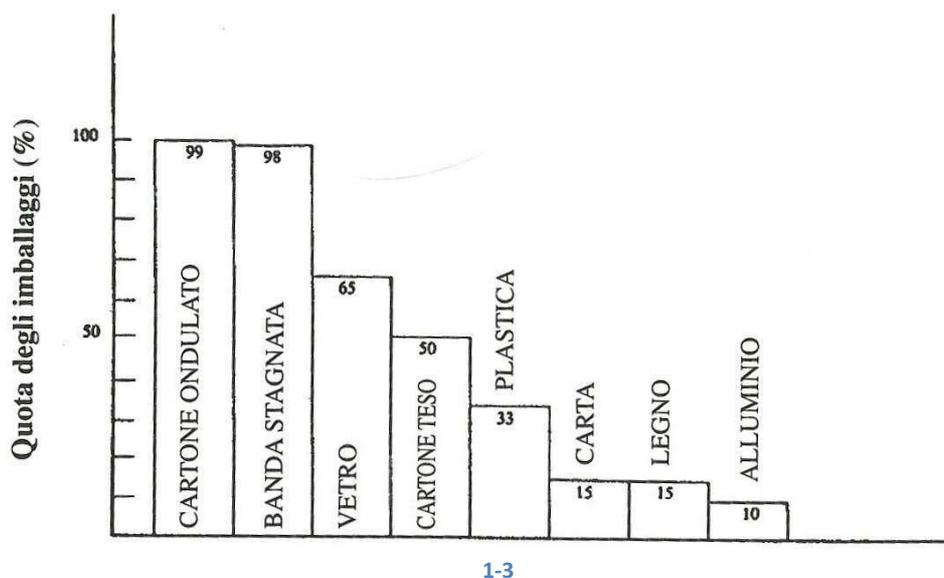
L'energia utilizzata per la fabbricazione dei materiali da imballaggio rappresenta comunque una percentuale minima del consumo energetico totale (ad esempio il 5% in Gran Bretagna), e inoltre è recuperabile, almeno in parte, mediante incenerimento (carta, plastica: l'incenerimento della carta produce 4000 kcal/kg, e quello della plastica 8000 kcal/kg), oppure mediante riciclaggio totale o parziale (qualsiasi materiale).

I rifiuti domestici sono composti per il 25% in peso e addirittura per il 50% in volume da materiali da imballaggio (figura 1.7), in gran parte riciclati o inceneriti.

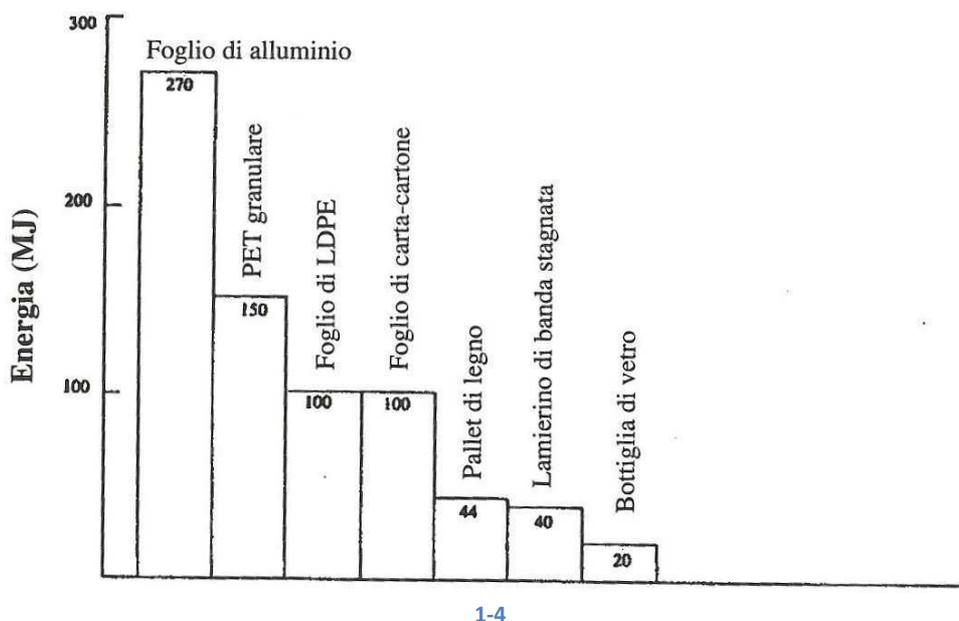
E per finire, l'energia consumata per l'imballaggio non viene utilizzata invano: l'imballaggio, infatti, protegge un prodotto il cui contenuto energetico è da 5 a 40 volte superiore. La funzione principale dell'imballaggio è ovviamente la protezione del prodotto: sotto questo profilo, l'imballaggio è parte integrante del prodotto.

Le conseguenze dell'uso di un imballaggio inadatto possono essere drammatiche: in alcuni paesi in via di sviluppo, ad esempio, si calcola che il 50% dei prodotti alimentari distribuiti giungano a destinazione avariati a causa della mancanza di imballaggi adeguati; e nei trasporti marittimi, il 77% delle avarie di tutti i generi si potrebbe evitare se si utilizzassero imballaggi migliori.

Viceversa, quando si utilizzano imballaggi ben studiati, come avviene per gli elettrodomestici, la percentuale di danneggiamento supera raramente lo 0,8%.



1-3  
*Quota rappresentata dagli imballaggi nel consumo totale (in peso) di materiali*



*Stima della quantità di energia necessaria per produrre 1 Kg di materiale da imballaggio*

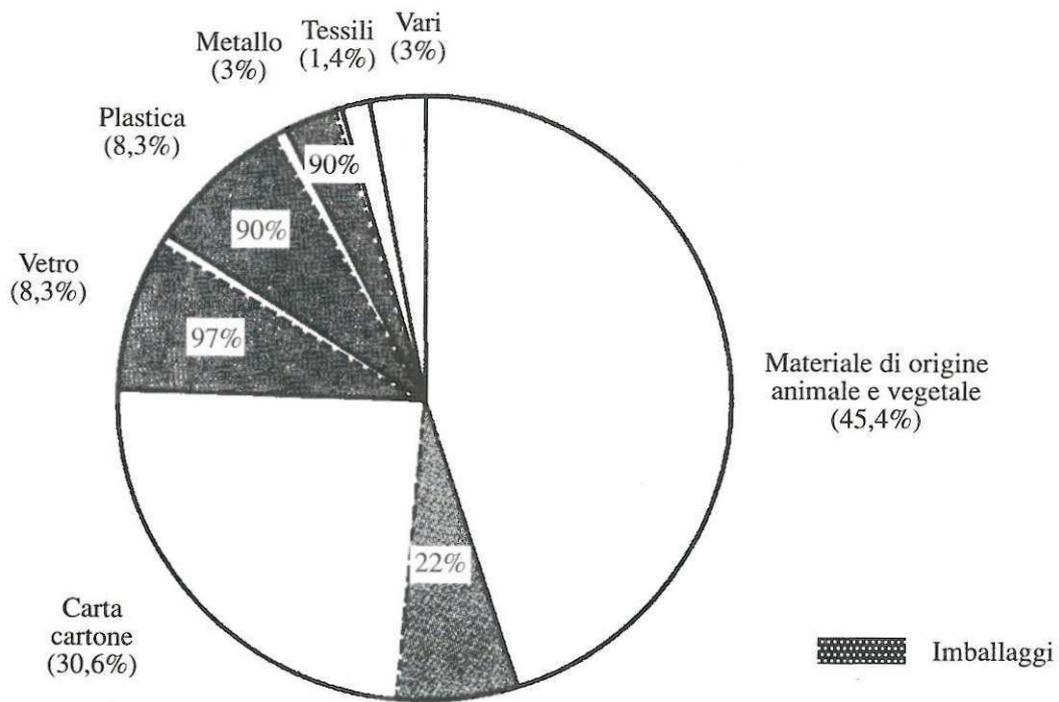
L'imballaggio è dunque presente in tutti i settori dell'economia nazionale, e gli studi effettuati da numerosi economisti indicano che può essere a ragione considerato come un barometro dell'economia.

L'imballaggio costituisce in effetti il riflesso dell'attività industriale di un paese, come dimostra la figura 1.8, perché quasi tutti i prodotti devono essere imballati per poter essere distribuiti. L'imballaggio è anche un barometro del livello di vita di un paese, come mostra la figura 1.7: il consumo pro capite di imballaggi è infatti proporzionale al prodotto nazionale lordo per abitante.

MATERIALE	Tipo di paese	Industrializzato avanzato	Industrializzato meno avanzato	In via di sviluppo	Sottosviluppato	Consumo medio (insieme d mondo)	
	PNL /abitante \$	10.000	5.000	1.000	100		
	Popolazione (milioni)	500	740	2.800	2.164	1985	2000
METALLO		8	4	3	1	3	2,8
VETRO		45	10	5	2	7	7,8
CARTA-CARTONE							
TESO E ONDULATO		70	45	10	5	12,8	17,3
LEGNO		10	5	3	2	3,2	8,6
PLASTICA		30	20	6	3	3,2	8,6
<b>TOTALE</b>		<b>163</b>	<b>84</b>	<b>27</b>	<b>13</b>	-	-

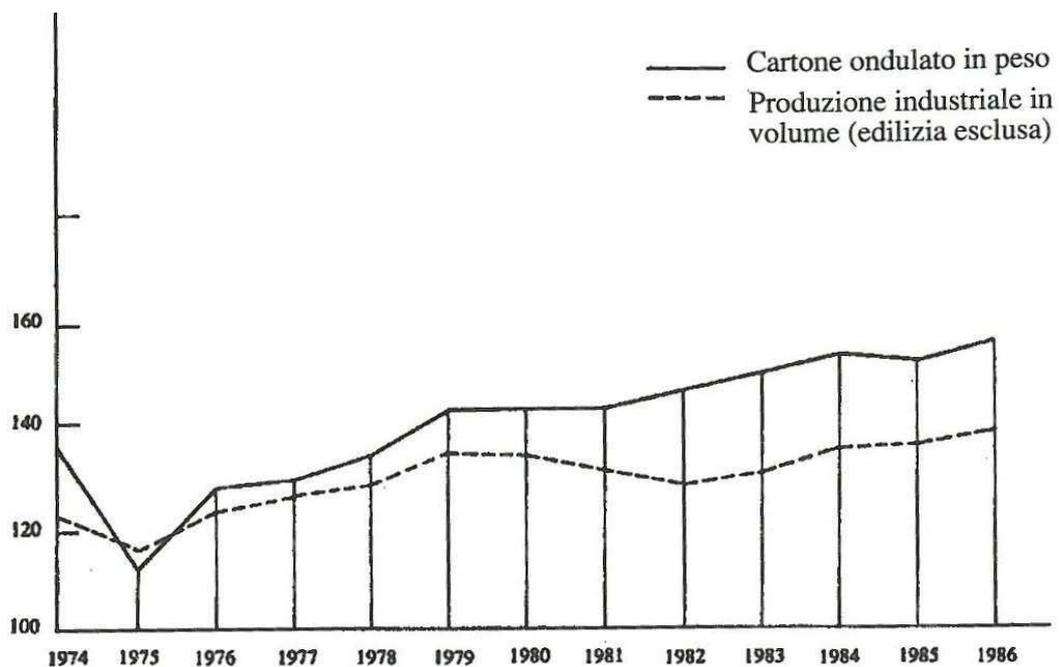
1-5

*Dati comparativi previsionali riferiti al 2000 sul consumo pro capite di materiali da imballaggio (Kg/anno) in vari tipi di paesi*



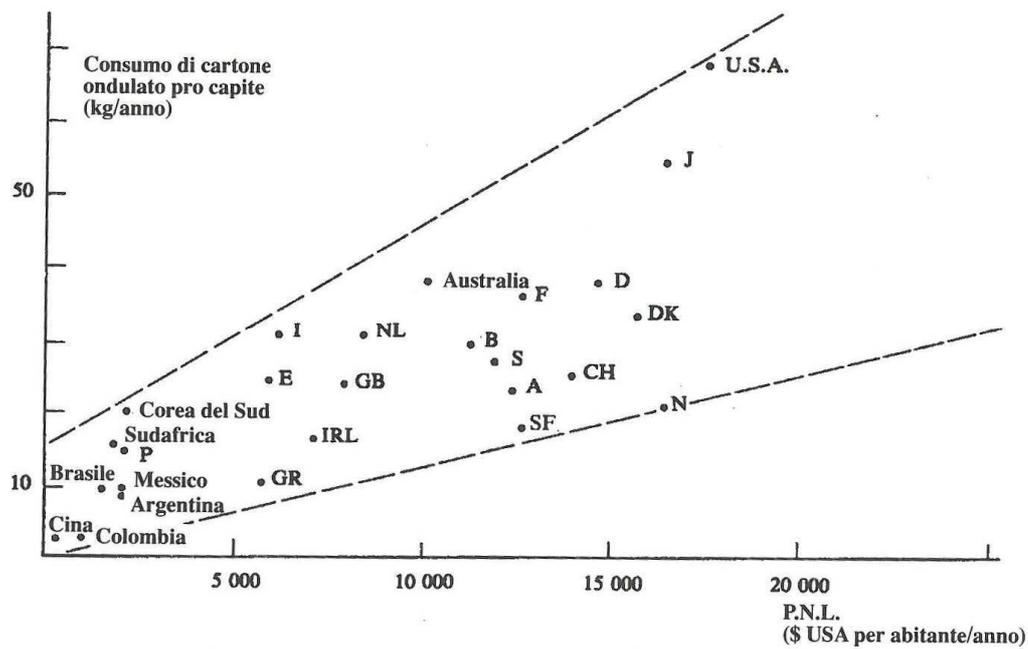
1-6

Composizione dei rifiuti domestici (0.6 Kg/giorno per abitante)



1-7

Evoluzione della produzione di cartone ondulato e della produzione industriale, edilizia esclusa



1-8

*Rapporto tra il prodotto nazionale lordo pro capite ed il consumo di cartone ondulato*



## 2 CHE COS' E' UN RIUNITO ODONTOIATRICO

Un riunito odontoiatrico o dentistico è un sistema articolato che raccoglie la strumentazione di base usata per i trattamenti odontoiatrici.

### 2.1 I PRINCIPALI ORGANI DEL RIUNITO ODONTOIATRICO

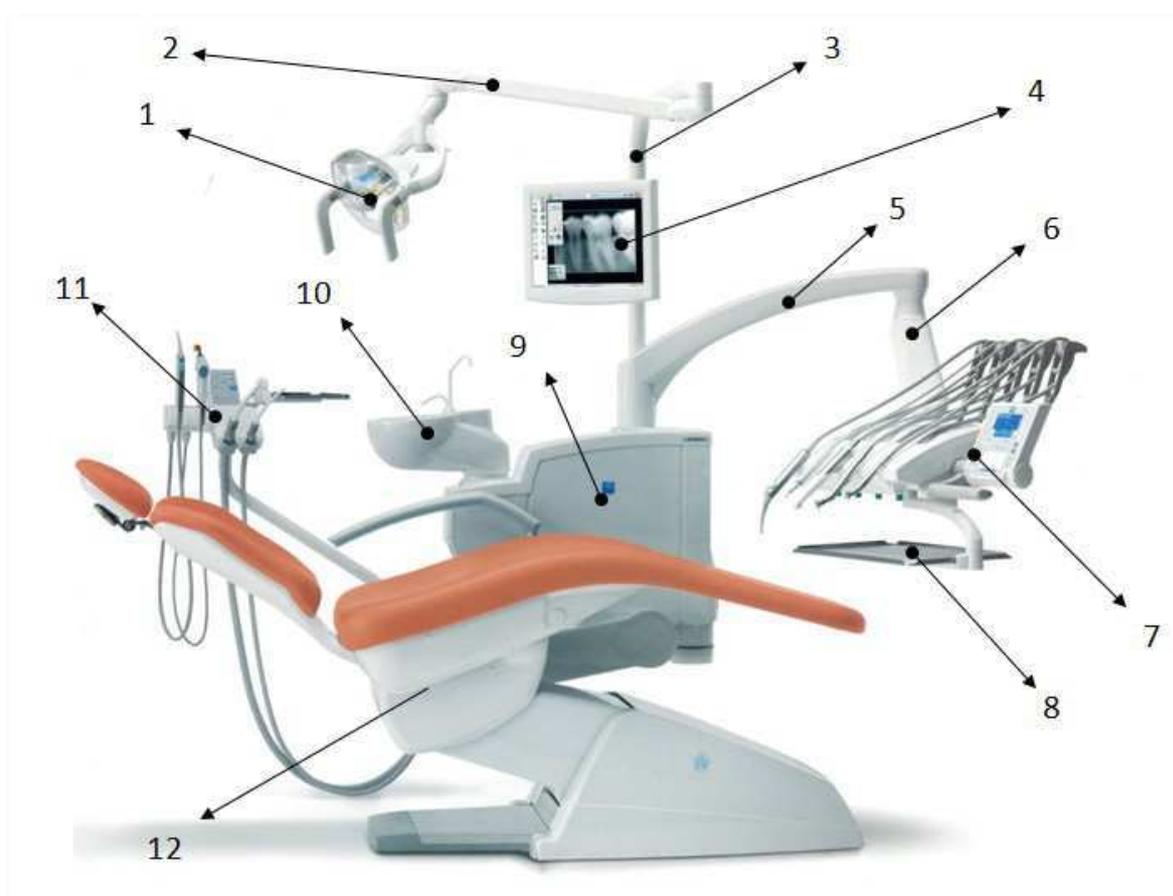


Figura 2-1

1	Lampada scialitica
2	Braccio pantografo della lampada
3	Palo di supporto della lampada
4	Monitor (opzionale)
5	Braccio fisso
6	Braccio pantografo
7	Tavoletta medico o faretra

<b>8</b>	Tavoletta tray
<b>9</b>	Gruppo idrico
<b>10</b>	Bacinella
<b>11</b>	Tavoletta assistente medico
<b>12</b>	Poltrona

Esistono due tipologie di tavoletta medico:

RECUPERO SUPERIORE RS / Sprido  
(Continental)



Figura 2-2

CAVI PENDENTI CP (International)



Figura 2-3

Posso poi distinguere due grandi famiglie di riuniti odontoiatrici:

**SOLIDALI:**

Gruppo idrico e poltrona si muovono in maniera sincrona



2-4

**A TERRA:**

Il gruppo idrico resta a terra mentre la poltrona si muove



2-5



### 3 IMBALLAGGIO IN CEFLA DENTAL GROUP

All'interno di CEFLA Dental Group l'aspetto dell'imballaggio è sempre stato un target di notevole interesse, poiché i propri prodotti vengono spediti in tutti i continenti del pianeta.

Le modalità di trasporto saranno quindi le più svariate, passando dal mercato europeo a quello oltreoceano, i riuniti dentali CEFLA subiscono infinite sollecitazioni e stress di qualunque genere. Non è raro che le merci permangano per lunghi periodi all'interno di navi cargo, con relativi problemi di salsedine che attaccano le parti meccaniche, spesso in maniera irreversibile. Attualmente non sono previste differenziazioni nell'imballaggio al variare delle zone di spedizione.



3-1

#### 3.1 LA POLITICA AZIENDALE

Tuttora la politica aziendale prevede l'invio dell'attrezzatura a dealer locali sparsi in tutto il mondo che svolgono la funzione di rivenditori. In particolar modo si vuole che l'operazione di start-up sia la più rapida possibile e quindi il prodotto esce dalla fabbrica completamente assemblato e soprattutto già collaudato, in quanto necessita soltanto di essere allacciato alle utenze.

### 3.1.1 Come sono strutturati i colli di spedizione

I riuniti CEFLA sono completamente personalizzabili e dispongono di numerosi accessori optional, non esiste quindi una situazione standard di invio dei colli. Saranno comunque sempre presenti due colli, che viaggiano obbligatoriamente accoppiati:

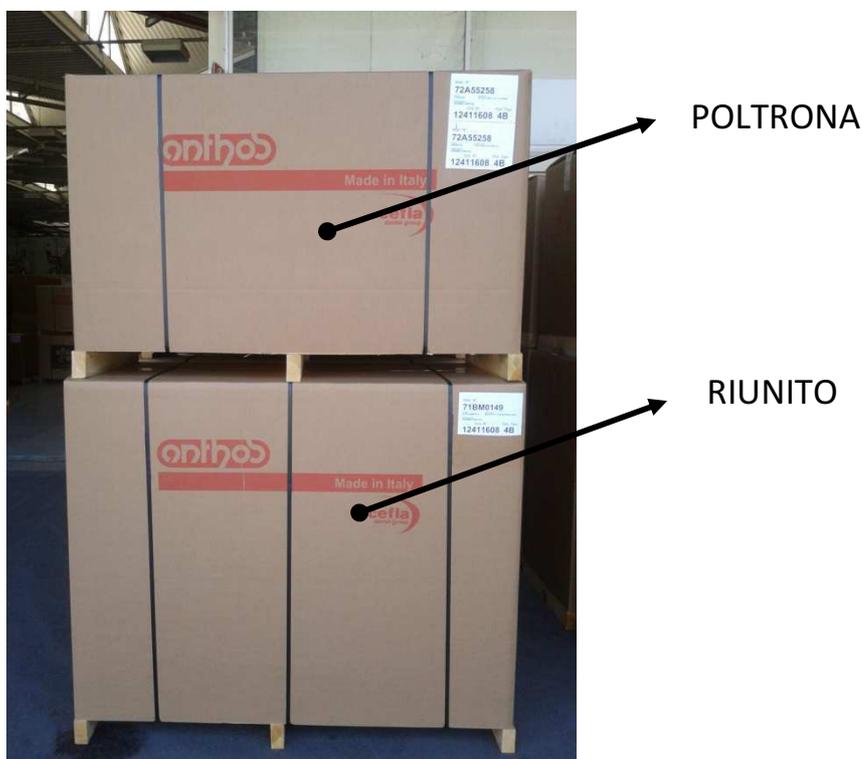


Figura 3-2

Le dimensioni sono le seguenti [mm]

- BO Riunito:
  - 1540 x 750 x 1010
  - 1540 x 750 x 1220
  - 1540 x 750 x 1370
  
- Pallet riunito: 1580 x 780 x 120
- BO Poltrona: 1480 x 700 x 890
- Pallet Poltrona : 1480 x 720 x 112

Esistono poi ulteriori colli di spedizione, non necessariamente vincolati alla coppia sopra citata, in quanto possono anche essere optional oppure semplici ricambi.

Per citarne soltanto alcuni:

- Seggiolino
- Compressore Unijet
- Monitor
- Radiologici MYRAY
- Sterilizzatrici MOCOM

### 3.2 MODALITÀ DI SPEDIZIONE

Una volta che i colli escono dalle linee dedicate, giungono all'interno dell'Area Spedizione in attesa dei vettori di trasporto.

In particolare vengono utilizzate principalmente due modalità di trasporto:

- Container

SPECIFICATIONS MISURE		 <b>DRY FREIGHT - BOX</b> CHIUSI			
		20'	40'	40' <sup>H.C.</sup>	45' <sup>H.C.</sup>
		8'x8'6"	8'x8'6"	8'x9'6"	8'x9'6"
LENGTH LUNGHEZZA	m.	5,86	12,01	12,02	13,55
	m.	5,94	12,05	12,05	13,58
WIDTH LARGHEZZA	m.	2,31	2,30	2,34	2,34
	m.	2,36	2,35	2,35	2,35
HEIGHT ALTEZZA	m.	2,36	2,36	2,68	2,69
	m.	2,39	2,39	2,69	2,69
DOOR WIDTH LARGHEZZA PORTA	m.	2,28	2,29	2,29	2,33
	m.	2,34	2,34	2,34	2,34
DOOR HEIGHT ALTEZZA PORTA	m.	2,27	2,26	2,57	2,57
	m.	2,29	2,28	2,58	2,58
CAPACITY CAPACITÀ	m. <sup>3</sup>	32,0	65,2	75,7	85,6
	m. <sup>3</sup>	33,9	67,5	76,0	86,0
MAXIMUM PAYLOAD PORTATA MASSIMA	kg.	18.270	26.880	26.680	26.580
	kg.	27.980	31.900	31.850	27.620
TARE WEIGHT TARA	kg.	2.050	3.600	3.800	3.900
	kg.	2.500	4.100	4.150	4.880
MAX GROSS WEIGHT PESO COMPLESSIVO	kg.	20.320	30.480	30.480	30.480
	kg.	30.480	36.000	36.000	32.500

Solo USA

Figura 3-3

- Camion



**BILICO**

**Dimensioni (LxLxH):** 13,60 x 2,44 x 2,60 **Capacità in Q.li:** 240



**MEGA**

**Dimensioni (LxLxH):** 13,60 x 2,50 x 3,00 **Capacità in Q.li:** 240



**AUTOTRENO**

**Dimensioni (LxLxH):** (7,7+7,7) x 2,5 x 3 **Capacità in Q.li:** 240

Figura 3-4

### 3.3 LE FASI DI IMBALLAGGIO

Assumo come esempio l'imballaggio di un riunito Anthos A5 SPRIDO, le fasi sono comunque molto simili tra un modello e l'altro.

<b>N°</b>	<b>DESCRIZIONE OPERAZIONE</b>	<b>FOTO</b>	<b>Tempo</b>
1	L'operatore prende in consegna il riunito in uscita dalla fase di collaudo		1'

Figura 3-5

2°	<p>Preparazione del carter di copertura della base poltrona con pluriball e scotch</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 3-6</p>	3'
3°	<p>Fasciatura della faretra con film estensibile e scotch. Stringere il grano così da bloccare la rotazione della faretra stessa</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 3-7</p>	2'
4°	<p>Fasciare i cavi di alimentazione acqua ed aria con film estensibile. Inserire tappi per prevenire sgocciolamenti</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 3-8</p>	1'

5°	<p>Fasciatura della tavoletta assistente con un sacco di pluriball fissato con scotch</p>	 <p>Figura 3-9</p>	2'
6°	<p>Protezione della bacinella con un sacco pluriball fissato con scotch</p>	 <p>Figura 3-10</p>	2'
7°	<p>Copertura del gruppo idrico con protezione gonfiabile</p>	 <p>Figura 3-11</p>	2'

<p>8°</p>	<p>Fissaggio della cassetta allacciamenti al pallet. Utilizzando uno spessore di polistirene.</p>	 <p>Figura 3-12</p>	<p>1'</p>
<p>9°</p>	<p>Fissaggio della staffa di sostegno (lato pallet). Aggiungere protezione in polietilene.</p>	 <p>Figura 3-13</p>	<p>2'</p>
<p>10°</p>	<p>Fissaggio della staffa di sostegno (lato faretra)</p>	 <p>Figura 3-14</p>	<p>2'</p>

<p>11°</p>	<p>Fissare alla staffa la scatola contenente il corredo, utilizzando lo scotch</p>	 <p>Figura 3-15</p>	<p>1'</p>
<p>12°</p>	<p>Posizionare la scatola della lampada, fissare con lo scotch. Utilizzare protezione in polietilene</p>	 <p>Figura 3-16</p>	<p>1'</p>
<p>13°</p>	<p>Posizionare il cofano. Utilizzare protezione gonfiabile e polietilene</p>	 <p>Figura 3-17</p>	<p>3'</p>

14°	<p>Fissare con scotch un blocchetto di legno che servirà per facilitare la futura installazione del riunito</p>	 <p>Figura 3-18</p>	1'
15°	<p>Inserire il cartone esterno</p>	 <p>Figura 3-19</p>	1'
16°	<p>Fermarlo su entrambi i lati corti con 3 punti metallici</p>	 <p>Figura 3-20</p>	1'

17°	<p>Utilizzare reggiatrice per rendere solida il pallet con il cartone</p>	 <p>Figura 3-21</p>	3'
18°	<p>Attaccare al cartone un foglio, da ambo i lati, riportante i codici dell'ordine. Viene utilizzata colla spray</p>	 <p>Figura 3-22</p>	2'
19°	<p>Chiusura dell'ordine sul PC</p>	 <p>Figura 3-23</p>	1'
TEMPO TOTALE MEDIO [min]			<b>32'</b>

### 3.4 I COSTI DELL'IMBALLAGGIO

Tutto quanto il materiale utilizzato per l'imballaggio è a perdere.

Per poter valutare il costo totale medio di un imballaggio devo separare il costo della manodopera da quello della materia prima.

#### 3.4.1 Il costo della materia prima

Utilizzando i dati del riunito, del quale ho descritto l'imballaggio precedentemente:

DESCRIZIONE	UDM	QTA	C UNIT. [ euro ]	C. TOTALE [ euro ]
VITE TCEI M6X45 8.8	PZ	2	0.0226	0.0452
VITE TCEI M10X20 8.8	PZ	2	0.0373	0.0746
VITE TCEI M8X45 8.8 ZINC	PZ	1	0.15	0.15
VITE AUTOF TE #14X3/4	PZ	18	0.028	0.504
VITE LEGNO TE D 6X50	PZ	4	0.025	0.1
VITE LEGN TT CRO D 4.5X40	PZ	2	0.0105	0.021
DADO M6 MEDIO 6S	PZ	2	0.0032	0.0064
ROND D 6.25X24 S 2 R40	PZ	8	0.0096	0.0768
ROND DENTELLATA EST X M8	PZ	2	0.0038	0.0076
FILM ESTENSIBILE H=125 MM	PZ	0.0045	0.74	0.00333
TAPPO DI PROTEZ. FORO D=18,5	PZ	1	0.0726	0.0726
TAPPO DI PROTEZ. FORO D=28	PZ	2	0.1387	0.2774
TAPPO AUTOFILETTANTE M5	PZ	1	0.1153	0.1153
TARGH. AVVERTENZA IMBALLO	PZ	1	0.115	0.115
REGGIETTA PLASTICA MM15X0,64	MT	10.2	0.02	0.204
NASTRO ADESIVO H=50X66MT	PZ	0.125	0.816	0.102
ELEMENTO IN POLISTIROLO	PZ	1	0.06	0.06
PUNTI METALLICI 17.30 SB	PZ	8	0.004	0.032
PALLET 750X1540 S=17	PZ	1	10.3455	10.3455
SCATOLA 550X440X285H	PZ	1	3.0625	3.0625
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	PZ	1	0.4	0.4
SACCO PLURIBALL 450X600	PZ	2	0.14	0.28
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	PZ	0.016	13.6875	0.219
SCATOLA BO 1540X750X1010H	PZ	1	12.87	12.87
NASTRO ADESIVO H=75X132MT	PZ	0.08	2.4684	0.197472
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	MQ	0.15	0.18	0.027
PIASTRINA DI RINFORZO	PZ	1	0.46	0.46
STAFFA IMBALLO RIUNITI	PZ	1	5.31	5.31
PIASTRA IMBALLO RIUNITI	PZ	1	3.54	3.54
ASS. STAFFA IMBALLO	PZ	1	2.06	2.06
PERNO SUPP. RIUNITO	PZ	1	1.1515	1.1515
APPOGGIO PER IMBALLO	PZ	1	0.396	0.396
<b>Imballo Riunito A5</b>	<b>PZ</b>	<b>1</b>	<b>41.8829</b>	<b>41.8829</b>

Tabella 3-1

### 3.4.2 Il costo della manodopera

Costo orario dell'operatore = 18 €/h

Conversione da min a h:

$$60:1 = 32:x$$

$$x = \frac{32}{60} = 0.533 \text{ h}$$

Costo manodopera per singolo imballaggio:

$$18 \cdot 0.533 = 9.594 \text{ €}$$

### 3.4.3 Costo totale unitario

Costo della materia prima = 41.883 €

Costo manodopera = 9.594 €

Costo totale = 41.883 + 9.594 = **51.477€**

## 4 LA DINAMICA VERTICALE DEL VEICOLO [3]

Analizzo le caratteristiche indotte dai sistemi di trasporto.

### 4.1 INTRODUZIONE AL PROBLEMA

Il problema della dinamica verticale consiste nel determinare la risposta del veicolo (in termini di moto vibratorio e di forze scambiate con la strada) indotto da una geometria del fondo stradale (o del binario per un veicolo ferroviario) che si discosta dal piano orizzontale.

Di particolare interesse in questo senso è la presenza lungo la via di corsa di irregolarità dovute ad imperfezioni del fondo stradale che si generano sia durante la posa del fondo stesso, sia per effetto di cedimenti anelastici del terreno, fenomeno quest'ultimo che porta ad una crescita dell'irregolarità con l'esercizio della via stradale / ferrata.

Lo studio della dinamica verticale di un veicolo richiede, per ottenere risultati validi dal punto di vista quantitativo, l'utilizzo di modelli matematici relativamente complessi, dotati di numerosi gradi di libertà.

Si consideri, a titolo di esempio, un autoveicolo a due assi: considerando come corpi rigidi la scocca ed i quattro mozzi, e semplificando la geometria delle sospensioni, si può ipotizzare che il veicolo costituisca un sistema a 7 gradi di libertà, come quello mostrato in figura 4.1, in cui la scocca possiede tre possibilità indipendenti di movimento (traslazione verticale, rotazioni di rollio e beccheggio), ed ognuno dei quattro mozzi possiede una possibilità di spostamento indipendente (traslazione verticale).

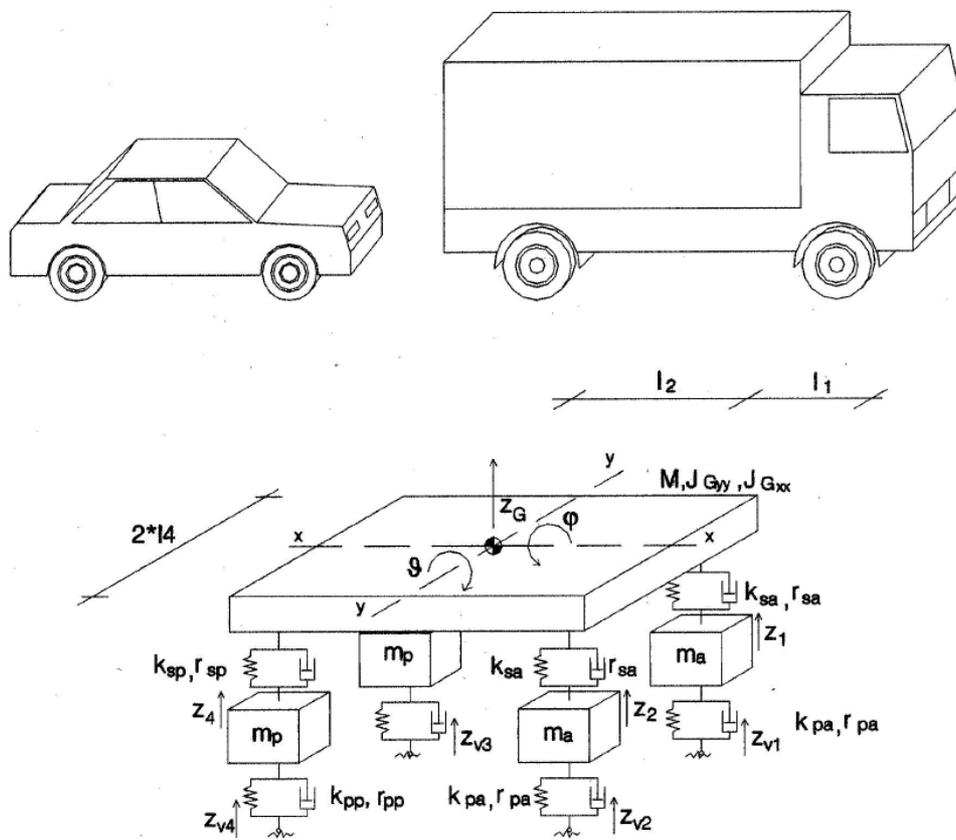
Nel caso di veicoli ferroviari, addirittura in molti casi non è possibile trascurare gli effetti di deformazione flessionale e torsionale della cassa (ciò avviene in particolare nei treni passeggeri di nuova generazione, come gli italiani ETR500 e ETR480 oppure il tedesco ICE): in tale caso ai gradi di libertà corrispondenti allo spostamento rigido dei corpi è necessario aggiungere ulteriori possibilità di movimento che consentano di tenere conto della deformabilità.

In questo capitolo si tratterà il problema ad un livello introduttivo, con il principale scopo di individuare i criteri di massima che consentono di condurre la progettazione delle sospensioni di un veicolo (stradale o ferroviario) in relazione al comfort di marcia e alla tenuta di strada, e si farà perciò

riferimento a modelli più semplici, che, senza la pretesa di fornire risultati attendibili da un punto di vista quantitativo, consentono di mettere in luce i principali aspetti qualitativi del problema.

A questo scopo, si farà riferimento inizialmente ad un modello ad un grado di libertà (paragrafo 4.2, e successivamente a modelli più dettagliati a due e quattro gradi di libertà paragrafi 4.3 e 4.4).

## 4.2 UN MODELLO ELEMENTARE PER LA DINAMICA VERTICALE DEL VEICOLO.



4-1

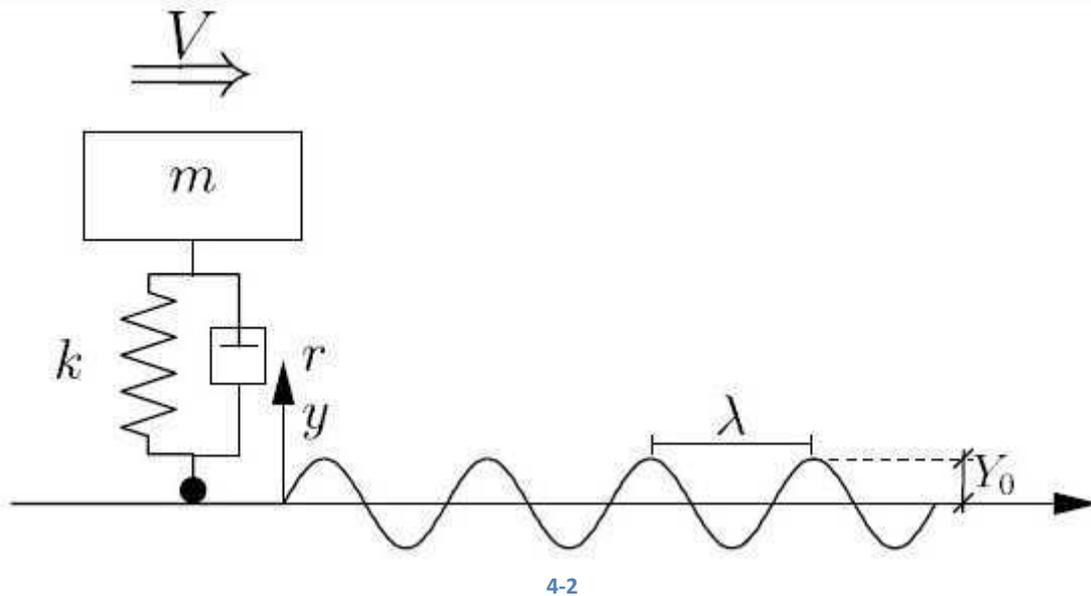
Il modello a 7 gradi di libertà del veicolo mostrato in figura 4.1 può essere opportunamente semplificato per affrontare lo studio della dinamica verticale con maggiore semplicità. Si ipotizzi innanzitutto che i moti di rollio e beccheggio della scocca siano trascurabili rispetto ai moti verticali:

in questo modo il numero di gradi di libertà del modello si riduce a 5.

Se inoltre si tiene conto del fatto che normalmente la rigidità dei pneumatici è molto superiore a quella delle sospensioni che collegano i mozzii alla scocca, è

possibile sopprimere anche i gradi di libertà dei quattro mozzi, ipotizzando (in prima approssimazione) che questi seguano rigidamente l'irregolarità stradale. Come si vedrà nel paragrafo 4.3, questa approssimazione è valida solo in un campo di frequenze ristretto (tipicamente da 0 a 3 - 4 Hz per un veicolo stradale).

Applicando questa seconda semplificazione, il modello si riduce ad un unico grado di libertà, rappresentante la traslazione verticale della cassa. Ne risulta il modello mostrato in figura 4.2.



*(Modello a 1 grado di libertà per lo studio della dinamica verticale)*

*Legenda: m = massa veicolo; k = rigidezza sospensioni; r = smorzamento delle sospensioni, m<sub>1</sub> = massa non sospesa*

Utilizzando la coordinata x per definire lo spostamento verticale della massa m e la coordinata y per individuare lo spostamento imposto dalla strada al punto di contatto, si ha l'equazione di moto:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = -mg + ky + r\dot{y} \quad (4.1)$$

Lo spostamento  $y(t)$  del punto di contatto dipende dalla irregolarità presente nel fondo stradale e dalla velocità  $V$  (supposta costante) con cui il veicolo avanza.

Più in dettaglio, l'irregolarità stradale, se sinusoidale, è espressa nella seguente forma in funzione di una coordinata  $\xi$  corrente lungo il piano stradale nella direzione di avanzamento del veicolo:

$$y(\xi) = Y_0 \cos\left(\frac{2\pi\xi}{\lambda}\right) \quad (4.2)$$

In cui  $\lambda$  è la lunghezza d'onda dell'irregolarità.

L'uso della funzione coseno anziché seno corrisponde semplicemente ad aver scelto lo zero della coordinata  $\xi$  in corrispondenza di un massimo della irregolarità e presenta un vantaggio nella applicazione del formalismo complesso che sarà eseguita nel seguito.

Sostituendo nella espressione dell'irregolarità sopra riportata la variazione della coordinata  $\xi$  prodotta dall'avanzamento del veicolo  $\xi = Vt$  si ottiene:

$$y(t) = Y_0 \cos\left(\frac{2\pi Vt}{\lambda}\right) = Y_0 \cos(\Omega t) \quad \text{con } \Omega = \frac{2\pi V}{\lambda} \quad (4.3)$$

sostituendo l'espressione del moto del punto di contatto e la sua derivata rispetto al tempo nella equazione di moto (5.1) si ottiene:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = -mg + kY_0 \cos(\Omega t) - r\Omega Y_0 \sin(\Omega t) \quad (4.4)$$

Come si osserva, la presenza di una irregolarità sinusoidale del fondo stradale si traduce per il veicolo in un forzamento armonico la cui intensità dipende dalla ampiezza della irregolarità stradale e dai parametri di rigidità e smorzamento della sospensione, mentre la pulsazione (o frequenza) dipende dalla lunghezza d'onda dell'irregolarità e dalla velocità del veicolo.

L'integrale generale della (4.4), che definisce il moto del veicolo, è somma dell'integrale generale dell'equazione omogenea associata  $x_g(t)$ , di un integrale particolare corrispondente alla forza peso costante  $x_{pp}(t)$  e di un integrale particolare corrispondente al forzamento introdotto dalla irregolarità stradale  $x_{pi}(t)$  :

$$x(t) = x_g(t) + x_{pp}(t) + x_{pi}(t) \quad (4.5)$$

per effetto dello smorzamento, il termine  $x_g(t)$  è rappresentato da un moto smorzato che presenterà o meno oscillazioni in funzione del fatto che lo smorzamento  $r$  del veicolo sia inferiore o superiore allo smorzamento critico. In ogni caso, questo termine è destinato ad attenuarsi fino a divenire trascurabile dopo un tempo sufficientemente lungo.

Si dice allora che l'integrale particolare (somma dei due contributi  $x_{pp}(t)$  e  $x_{pi}(t)$ ) rappresenta il moto "a regime" del sistema intendendo

con questo una volta che il moto oscillatorio si sia stabilizzato, ossia dopo la fase iniziale del moto in cui il termine  $x_g(t)$  non è trascurabile. Si osservi, per inciso, che in questi termini la dizione "moto a regime" non implica in nessun modo che l'energia cinetica del sistema sia costante.

L'integrale particolare dovuto alla forza peso è una soluzione costante, che soddisfa la (5.4), in cui si annulli l'irregolarità stradale. Ponendo:

$$x_{pp}(t) = x_0 = cost \quad ; \quad \dot{x}_{pp}(t) = 0 \quad ; \quad \ddot{x}_{pp}(t) = 0 \quad (4.6)$$

e, sostituendo nella equazione di moto si ottiene:

$$kx_0 = -mg \quad \rightarrow \quad x_0 = -mg/k \quad (4.7)$$

Per determinare l'integrale particolare  $x_{pi}(t)$  è opportuno utilizzare un formalismo complesso. A tale scopo si riscrive l'espressione del moto del punto di contatto  $y(t)$  come parte reale di un numero complesso avente modulo costante e anomalia variabile nel tempo:

$$y(t) = Y_0 \cos(\Omega t) = \text{Re}(Y_0 e^{i\Omega t}) \quad (4.8)$$

$$\dot{y}(t) = \text{Re}\left(\frac{d}{dt}(Y_0 e^{i\Omega t})\right) = \text{Re}(i\Omega Y_0 e^{i\Omega t}) \quad (4.9)$$

Sostituendo l'espressione complessa di  $y(t)$  nella (4.4) e trascurando il termine dovuto al peso, già considerato mediante l'integrale particolare  $x_{pp}$ , si ottiene una equazione differenziale a valori complessi, per la quale è possibile determinare un'integrale particolare complesso.

Prendendo infine la sola parte reale di tale soluzione, si ottiene l'integrale particolare  $x_{pi}(t)$  ricercato. L'equazione risolvente in termini complessi risulta:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = (k + i\Omega r)Y_0 e^{i\Omega t} \quad (4.10)$$

per la quale si ipotizza una soluzione particolare complessa del tipo:

$$\begin{aligned} x_p(t) &= X_0 e^{i\Omega t} \\ \dot{x}_p(t) &= i\Omega X_0 e^{i\Omega t} \\ \ddot{x}_p(t) &= -\Omega^2 X_0 e^{i\Omega t} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Sostituendo tale soluzione ( in forma complessa ) nell'equazione di moto si ottiene:

$$(-\Omega^2 m + i\Omega r + k)X_0 e^{i\Omega t} = (i\Omega r + k)Y_0 e^{i\Omega t} \quad (4.12)$$

Semplificando il termine esponenziale e risolvendo rispetto a  $X_0$ :

$$X_0 = \frac{i\Omega r + k}{-\Omega^2 m + i\Omega r + k} Y_0 \quad (4.13)$$

Il valore di  $X_0$  fornito dalla (4.12) è complesso, e può essere esplicitato in termini di modulo  $|X_0|$  e di fase  $\phi$  :

$$X_0 = |X_0| e^{i\phi} \quad (4.14)$$

Sostituendo tale soluzione nell'espressione dell'integrale particolare (4.12) e prendendo la sola parte reale si ottiene il moto nel tempo a regime del sistema:

$$x_p(t) = \text{Re}(|X_0| e^{i\phi} e^{i\Omega t}) = \text{Re}(|X_0| e^{i(\Omega t + \phi)}) = |X_0| \cos(\Omega t + \phi) \quad (4.15)$$

Il risultato ottenuto mostra che il moto a regime della massa  $m$  è un'oscillazione armonica con la stessa pulsazione  $\Omega$  della forzante prodotta dalla irregolarità stradale. L'ampiezza di tale oscillazione corrisponde al modulo

del numero complesso  $X_0$  che, come mostrato dalla (4.13), dipende a sua volta da:

- il valore della pulsazione  $\Omega$  della forzante;
- il valore dei parametri di massa, rigidità e smorzamento del sistema;

Per comprendere in che modo questi parametri determinano il moto del veicolo, è utile modificare la (4.13) in modo da trasformarla in una espressione adimensionale. A questo fine si calcoli anziché il valore  $X_0$ , il rapporto tra questo e l'ampiezza delle irregolarità  $Y_0$ .

Si definiscano poi:

- $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  *frequenza propria del sistema* (4.16)

- $r_c = 2m\omega_0 = 2\sqrt{km}$  *smorzamento critico del sistema* (4.17)

ed i seguenti parametri adimensionali:

- $a = \frac{\Omega}{\omega_0}$

- $h = \frac{r}{r_c}$

Utilizzando tali definizioni, e tenendo presente le seguenti relazioni:

$$\frac{\Omega^2 m}{k} = \frac{\Omega^2}{\omega_0^2} = a^2 \quad (4.18)$$

$$\frac{\Omega r}{k} = \frac{2m\Omega r}{2mk} = \frac{2\Omega r}{2m\omega_0^2} = \frac{2\Omega r}{2\omega_0 r_c} = 2ah \quad (4.19)$$

è possibile ricavare la seguente formula:

$$\frac{X_0}{Y_0} = \frac{i\Omega r + k}{-\Omega^2 + i\Omega r + k} = \frac{\frac{i\Omega r}{k} + 1}{-\frac{\Omega^2 m}{k} + i\frac{\Omega r}{k} + 1} = \frac{i2ah + 1}{-a^2 + i2ah + 1} \quad (4.20)$$

Utilizzando questa forma adimensionale, è relativamente semplice mettere in luce l'effetto della frequenza della forzante e dei vari parametri del sistema sul moto del veicolo: a tal fine, si osservi il diagramma riportato in figura 4.3, rappresentante il rapporto  $\frac{|X_0|}{Y_0}$ , ossia il rapporto tra l'ampiezza del moto del veicolo e l'ampiezza della irregolarità stradale, in funzione di  $a$  per diversi valori del rapporto  $h = \frac{r}{r_c}$ .

Considerando innanzitutto il caso di veicolo non smorzato ( $h = 0$ ), si osserva che:

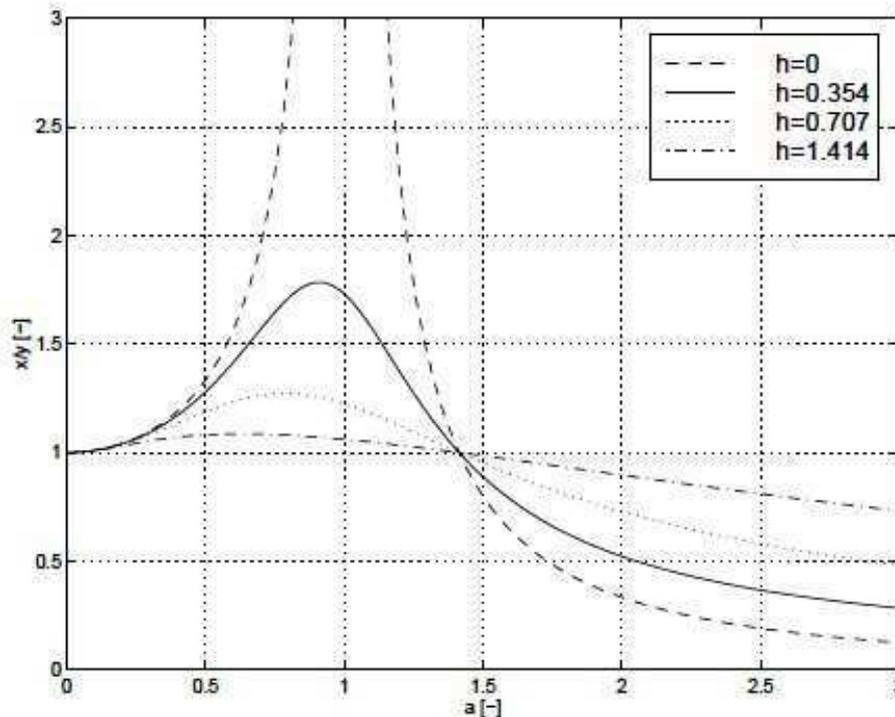
1. Per valori della pulsazione della forzante molto inferiori alla pulsazione propria del sistema, il rapporto  $\frac{|X_0|}{Y_0}$  è prossimo ad 1, ossia l'ampiezza di vibrazione della massa  $m$  risulta paragonabile all'ampiezza dell'irregolarità stradale: in tali condizioni, la massa segue "rigidamente" il moto del punto di contatto, come se il veicolo non fosse dotato di sospensioni;
2. Per valori della pulsazione della forzante prossimi alla pulsazione propria del veicolo, l'ampiezza di oscillazione diviene molto elevata in rapporto a quella dell'irregolarità stradale, e tende a divenire infinita nella condizione  $\Omega = \omega_0$  *condizione di risonanza*. Ricordando che in base alla (5.3) la pulsazione  $\Omega$  della forzante dipende in ultima analisi dalla velocità di avanzamento del veicolo  $V$  e dalla lunghezza d'onda  $\lambda$  dell'irregolarità, si può affermare che, per una data lunghezza d'onda di irregolarità stradale, è possibile definire un particolare valore della velocità, detta *velocità  $V_{cr}$*  per la quale il veicolo entra in risonanza. Uguagliando la (5.3) alla pulsazione propria del sistema si ottiene la relazione:

$$V_{cr} = 2\pi\lambda\omega_0 \quad (4.21)$$

3. Se la pulsazione della forzante è molto superiore alla pulsazione propria del sistema, l'ampiezza di vibrazione del veicolo risulta inferiore all'ampiezza dell'irregolarità, e tanto inferiore quanto maggiore è il valore del rapporto adimensionale  $a$ .

Da questo esame, si evidenzia che la presenza dell'elasticità della sospensione, rende il veicolo in grado di attenuare la vibrazione

impressa dalla strada al punto di contatto, a patto che la pulsazione propria del veicolo sia sufficientemente piccola rispetto a quella del moto impresso dalla irregolarità stradale.



4-3

*Ampiezza di oscillazione del veicolo adimensionalizzata rispetto all'ampiezza dell'irregolarità, rappresentata in funzione di  $a = \frac{\Omega}{\omega}$  per diversi valori del*

$$\text{rapporto } h = \frac{r}{r_c}$$

Il fenomeno descritto al punto 3. giustifica l'introduzione della sospensione: esso viene talvolta descritto affermando che per effetto della sospensione, il veicolo si comporta come un "filtro meccanico". Così come un filtro elettrico passa-basso consente di eliminare (o almeno ridurre) da un segnale elettrico i disturbi ad alta frequenza, mantenendo solo la componente lentamente variabile del segnale, allo stesso modo la sospensione elimina dal moto della cassa le vibrazioni ad alta frequenza dovute all'irregolarità stradale, pur consentendo al veicolo di scaricare a terra il proprio peso e di seguire l'altimetria "lentamente variabile" della strada (ad esempio la presenza di un dosso o di un ampio avvallamento).

Venendo poi a considerare l'effetto dello smorzamento sul comportamento del veicolo, si osserva che:

1. All'aumentare del parametro  $h$ , l'effetto di filtro meccanico dell'irregolarità viene ridotto, infatti nella zona del grafico in cui  $a \gg 1$  si osserva che al crescere dello smorzamento il rapporto  $\frac{|X_0|}{Y_0}$  aumenta, riducendo l'effetto di filtro delle vibrazioni prodotto dalla sospensione;
2. Nello stesso tempo, l'incremento dello smorzamento ha il benefico effetto di ridurre fortemente l'ampiezza di vibrazione del veicolo in risonanza;

già da queste osservazioni ci si rende conto che la scelta del valore appropriato per lo smorzamento sarà dettata da un compromesso: in questo caso tra la capacità di filtrare le vibrazioni ad alta frequenza e la necessità di evitare moti eccessivi ove la combinazione tra lunghezza d'onda dell'irregolarità e velocità di avanzamento sia tale da mandare in risonanza il veicolo.

Si può quindi affermare che, volendo ottimizzare il comfort dei passeggeri (ossia minimizzare il livello di vibrazione cui questi risultano esposti, a fronte di una data irregolarità stradale), oppure limitare le vibrazioni sugli oggetti eventualmente trasportati, i criteri di scelta dei parametri della sospensione si orienteranno a scegliere una rigidità che consenta di ridurre il più possibile la pulsazione propria del veicolo, ed uno smorzamento sufficientemente elevato da attenuare possibili fenomeni di risonanza, ma non troppo elevato per non vanificare l'effetto di filtro della sospensione.

Per quanto riguarda in particolare la scelta della rigidità della sospensione, va sottolineato che esiste un limite inferiore al di sotto del quale non è conveniente scendere, per almeno due motivi:

1. un valore troppo piccolo della rigidità significa abbassamenti statici (ossia prodotti dal peso proprio del veicolo e del carico portato) eccessivamente elevati;
2. un valore troppo basso della pulsazione propria significa che il transitorio di oscillazione innescato, ad esempio, dal superamento di un ostacolo localizzato si attenuerà in un tempo elevato, peggiorando in questo modo il comfort dei passeggeri.

in generale, si adotta come regola di "buon progetto" il criterio di scegliere la rigidità  $k$  della sospensione, data la massa  $m$  del veicolo, in modo che la frequenza propria del veicolo risulti circa pari a  $1 \text{ Hz}$ :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \simeq 1 \text{ Hz} \quad (4.22)$$

in questo modo si assicura un buon effetto di filtro nella maggior parte del campo di frequenze cui il corpo umano è sensibile (indicativamente, 1÷15 Hz), e nello stesso tempo si mantengono abbassamenti statici e tempi di arresto dei transitori accettabili. Sui criteri effettivi di scelta dello smorzamento si ritornerà nel paragrafo seguente.

Questa analisi dell'effetto dei parametri di rigidità e di massa non risulterebbe però completa se si trascurasse un secondo effetto sulla dinamica di marcia che assume importanza pari al comfort e che è legato alla tenuta di strada del veicolo, ossia alla capacità della sospensione di non far diminuire eccessivamente il valore della forza normale scambiata con il terreno. La forza totale trasmessa al terreno è la somma della forza trasmessa dalla molla e di quella applicata dallo smorzatore, e quindi ha la seguente espressione:

$$f_t = k[y(t) - (x_{pp}(t) + x_{pi}(t))] + r[\dot{y}(t) - (\dot{x}_{pp}(t) + \dot{x}_{pi}(t))] \quad (4.23)$$

In cui si è considerata la situazione di "regime" in cui l'integrale generale  $x_g(t)$  si è esaurito.

Sostituendo le espressioni determinate in precedenza per lo spostamento impresso e per i due integrali particolari si ottiene:

$$f_t = mg + Re \left[ k(Y_0 - X_0)e^{i\Omega t} + i\Omega r \left( (Y_0 - X_0)e^{i\Omega t} \right) \right] \quad (4.24)$$

$$f_{st} = mg \quad (4.25)$$

$$f_{din} = Re \left[ k(Y_0 - X_0)e^{i\Omega t} + i\Omega r \left( (Y_0 - X_0)e^{i\Omega t} \right) \right] \quad (4.25)$$

Come si osserva, la forza trasmessa è somma di un termine costante  $f_{st}$  corrispondente al peso del veicolo, e di una parte dinamica, prodotta dalle forze di inerzia associate al moto verticale del veicolo, che varia nel tempo armonicamente con la pulsazione  $\Omega$  del moto impresso.

Ai fini della tenuta di strada, è opportuno che l'ampiezza della componente dinamica  $f_{din}$  della forza scambiata sia piccola rispetto alla

componente statica: in questo modo infatti, anche quando il termine  $f_{din}$  va a sottrarsi a quello statico, si evita una eccessiva riduzione della forza normale trasmessa a terra.

Per calcolare il modulo della forza dinamica, si sostituisce nell'espressione sopra riportata l' espressione determinata in precedenza per  $X_0$ :

$$f_{din} = Re[(i\Omega r + k)(Y_0 - X_0)e^{i\Omega t}] = Re(F_0 e^{i\Omega t}) \quad (4.26)$$

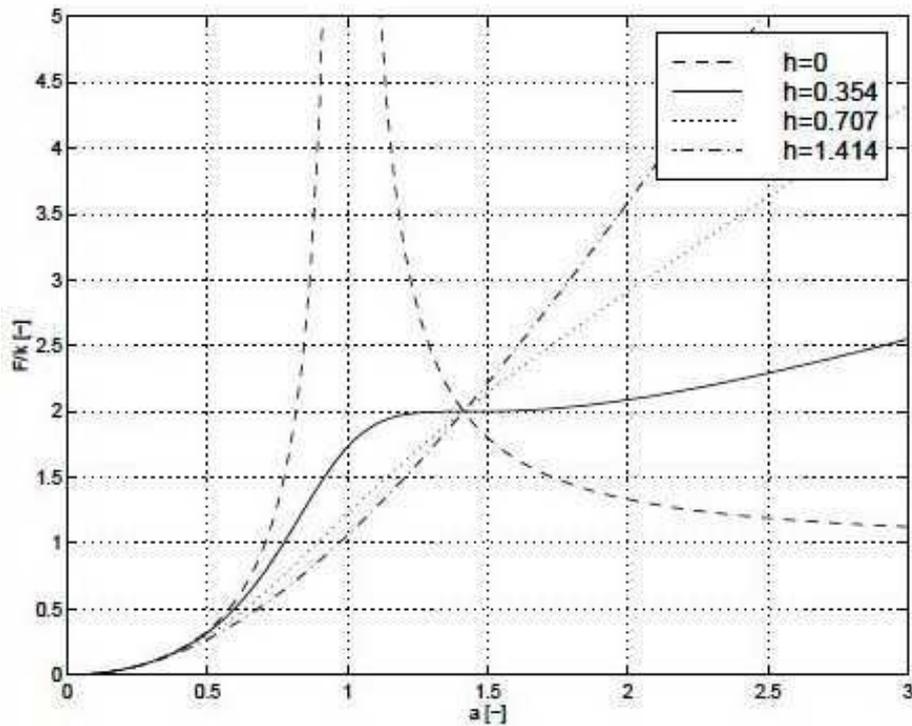
con

$$F_0 = (i\Omega r + k)(Y_0 - X_0) = \frac{-m\Omega^2(i\Omega r + k)}{-m\Omega^2 + i\Omega r + k} \quad (4.27)$$

Anche in questo caso, per poter meglio ragionare sull'effetto dei vari parametri, è opportuno esprimere la forza dinamica trasmessa in termini adimensionali. A tale scopo, si divide il modulo  $|F_0|$  della forza  $F_0$  per il prodotto  $kY_0$ .

Sostituendo le relazioni già utilizzate in precedenza si ottiene:

$$\frac{F_0}{kY_0} = \frac{\frac{-m\Omega^2}{k}\left(\frac{i\Omega r}{k} + 1\right)}{\frac{-m\Omega^2}{k} + \frac{i\Omega r}{k} + 1} = \frac{-a^2(i2ah + 1)}{-a^2 + i2ah + 1} \quad (4.28)$$



4-4

*Ampiezza della forza dinamica adimensionale in funzione della frequenza adimensionale per diversi valori dello smorzamento adimensionale  $h$ .*

La figura 4.4 mostra l'andamento di questo rapporto adimensionale in funzione della frequenza adimensionale  $a$  per diversi valori dello smorzamento adimensionale  $h$ . Si osserva che nel caso non smorzato la forza trasmessa assume valori molto elevati in prossimità della risonanza, mentre tende ad 1 (in termini adimensionali) per frequenze molto superiori a quella di risonanza. L'introduzione dello smorzamento riduce di molto la forza trasmessa in risonanza, ma aumenta la forza trasmessa ad alta frequenza. In realtà, questo risultato dipende molto dal semplice modello adottato: come si mostrerà nel paragrafo successivo, il valore della forza dinamica è fortemente influenzato dalle masse non sospese, che non sono considerate in questo modello.

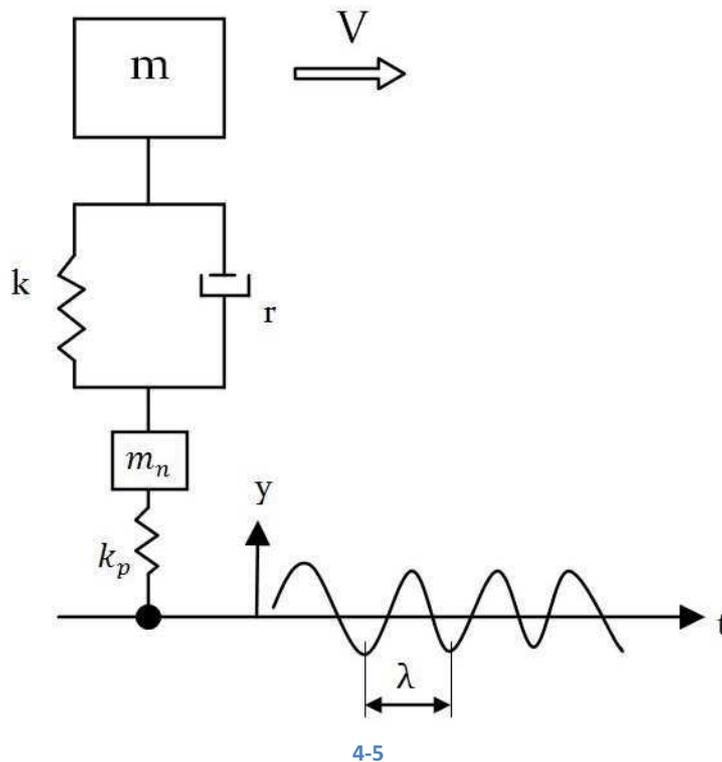
### 4.3 EFFETTO DELLE MASSE NON SOSPESSE

Le masse non sospese sono tutte le masse che possono (almeno in prima approssimazione) essere considerate concentrate nel mozzo della ruota. Ossia la massa del mozzo stesso, del pneumatico e di una quota parte della sospensione e se presenti) e dei semiassi.

Un semplice modello che consente di tenere conto dell'effetto di tali masse sulla dinamica verticale del veicolo è il modello a due gradi di libertà (spesso detto modello "quarto di veicolo") rappresentato in figura 4.5. Rispetto al modello a 1 g.d.l. trattato nel paragrafo precedente, viene introdotta una massa aggiuntiva  $m_n$  che rappresenta le masse non sospese, ed una molla  $k_p$  che rappresenta l'elasticità radiale del pneumatico. In realtà, sarebbe possibile introdurre anche uno smorzatore in parallelo alla molla  $k_p$ , per tenere conto delle dissipazioni che avvengono nel pneumatico, ma questi effetti risultano, in prima approssimazione, indipendenti dalla frequenza (smorzamento isteretico) e non crescenti con la frequenza come avviene nel caso di smorzamento viscoso. Introducendo uno smorzatore viscoso si rischierebbe quindi di falsare in parte i risultati dell'analisi che segue.

Per descrivere il moto del sistema a due gradi di libertà di figura 4.5 occorre utilizzare due coordinate,  $x_c$  e  $x_m$ , che definiscono la posizione verticale assoluta rispettivamente della scocca e del mozzo del veicolo, oltre alla variabile  $y$  che definisce lo spostamento impresso dalla strada al punto di contatto. Le equazioni di moto del sistema possono essere scritte utilizzando ad esempio il metodo di sovrapposizione degli effetti, ed assumono l'espressione:

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_c \\ \ddot{x}_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} r & -r \\ -r & r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{x}_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_c \\ x_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -mg \\ -m_n g + k_p y \end{Bmatrix} \quad (5.29)$$



Come nel caso del sistema a 1 grado di libertà, la soluzione del sistema di equazioni di moto è somma di un integrale generale dell'equazione omogenea associata, di un integrale particolare dovuto al peso, e di un integrale generale dovuto all'irregolarità stradale. Di questi tre termini, risulta di interesse solo quello relativo alla irregolarità: infatti solo da questo dipendono le oscillazioni della scocca che determinano il comfort dei passeggeri e la componente dinamica della forza scambiata con il terreno.

Per determinare l'integrale particolare ricercato, si elimina nella (4.29) l'effetto dei pesi (già considerato dall'integrale particolare relativo ai pesi) e si utilizza l'espressione complessa dello spostamento impresso  $y(t)$  già introdotta per lo studio del modello a 1 grado di libertà. Indicando con  $[M]$ ,  $[R]$  e  $[K]$  le matrici di massa, smorzamento e rigidezza introdotte nella (4.29) e con  $\underline{x}$  il vettore che raccoglie le due coordinate libere del sistema:

$$\underline{x} = \begin{Bmatrix} x_c \\ x_m \end{Bmatrix} \quad (4.30)$$

L'equazione di moto (5.29) può essere riscritta nella forma sintetica:

$$[M]\underline{\ddot{x}} + [R]\underline{\dot{x}} + [K]\underline{x} = \underline{F}_0 e^{i\Omega t} \quad (4.31)$$

dove:

$$\underline{F}_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ k_p Y_0 \end{Bmatrix} \quad (4.32)$$

L'integrale particolare soluzione di questa equazione avrà la forma (complessa):

$$x_p(t) = \underline{X}_0 e^{i\Omega t} = \begin{Bmatrix} |X_{c0}| e^{i\phi_c} \\ |X_{m0}| e^{i\phi_c} \end{Bmatrix} \quad (4.33)$$

Derivando due volte la soluzione, sostituendola nell'equazione di moto e raccogliendo opportunamente i termini si ottiene:

$$(-\Omega^2 |M| + i\Omega |R| + |K|) \underline{X}_0 e^{i\Omega t} = \underline{F}_0 e^{i\Omega t} \quad (4.34)$$

Semplificando il termine esponenziale comune ai due membri, si ottiene un'equazione matriciale nella forma:

$$[A(\Omega)] \underline{X}_0 = \underline{F}_0 \quad (4.35)$$

con:

$$[A(\Omega)] = -\Omega^2 [M] + i\Omega |R| + |K| \quad (4.36)$$

In base al teorema di Cramer, se la matrice  $[A(\Omega)]$  non è singolare (cosa che non può avvenire se lo smorzamento  $r$  è diverso da zero), la soluzione del sistema è data dalla:

$$\underline{X}_0 = [A(\Omega)]^{-1} \underline{F}_0 \quad (4.37)$$

ottenuta tale soluzione, l'ampiezza di vibrazione della cassa è rappresentata da  $|X_{c0}|$ , ossia dal modulo del primo elemento del vettore complesso  $\underline{X}_0$ . Ripetendo il calcolo sopra descritto per diversi valori della pulsazione  $\Omega$  dello spostamento impresso, è possibile determinare la vibrazione della cassa al

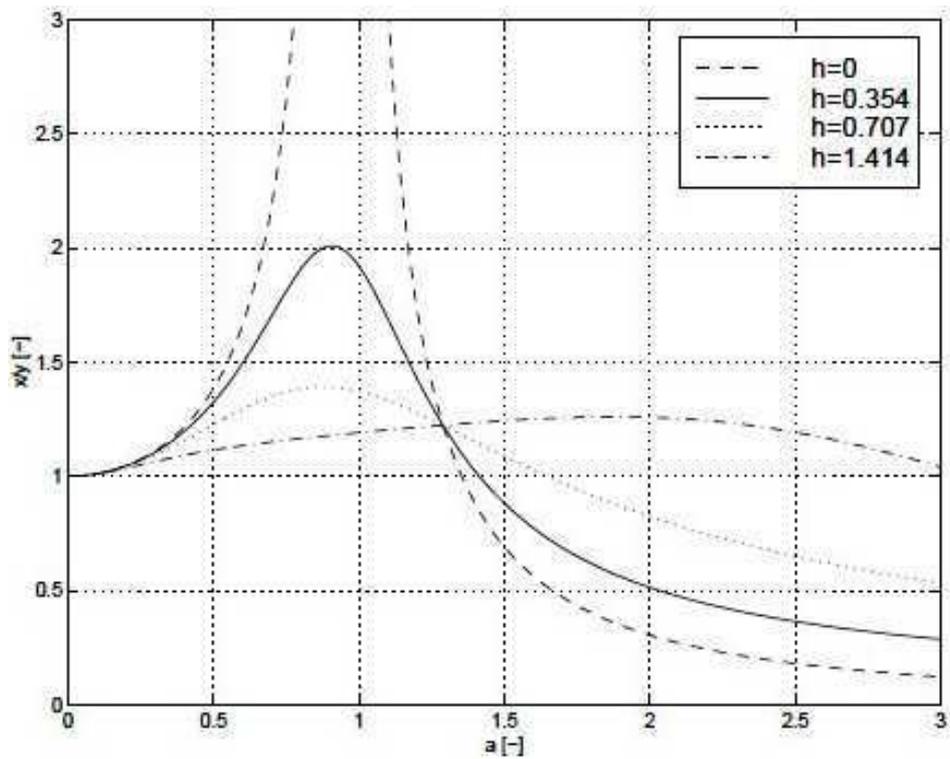
variare della frequenza analogamente a quanto fatto per il sistema ad un grado di libertà.

La figura 4.6 mostra tale andamento in forma adimensionalizzata, ossia dividendo l'ampiezza di oscillazione della cassa  $|X_{c0}|$  per l'ampiezza dello spostamento impresso  $Y_0$  e rappresentando questa grandezza in funzione della frequenza adimensionalizzata  $a$ , definita come al paragrafo precedente. Per maggiore chiarezza, questo risultato è rappresentato in due scale diverse: per valori della frequenza adimensionale da 0 a 3 (figura 4.6), per consentire il confronto con i risultati presentati nel paragrafo precedente per il sistema ad un grado di libertà, e per valori della frequenza adimensionale fino a 15 (figura 4.7), per valutare l'effetto del moto della massa non sospesa anche nel campo delle alte frequenze.

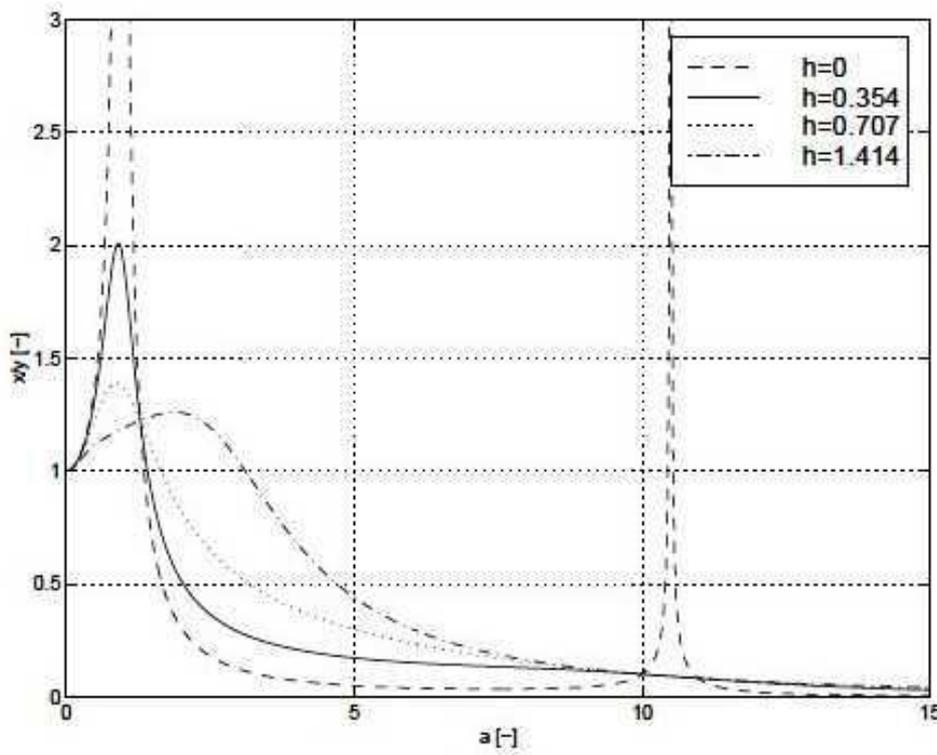
Il risultato mostrato è stato ottenuto ipotizzando una massa non sospesa  $m_n$  pari al 10% della massa attribuita alla scocca  $m$  e una rigidezza del pneumatico pari a 20 volte la rigidezza della sospensione. Come si può osservare dal confronto con la figura 4.3, ad eccezione del caso non smorzato l'andamento dell'accelerazione della scocca non differisce di molto dal risultato ottenuto con il modello ad un grado di libertà. In assenza di smorzamento, si manifesta un picco di amplificazione ad alta frequenza ( $a \approx 11$ ), che corrisponde alla risonanza della massa non sospesa (si veda anche il paragrafo successivo). In presenza di un livello di smorzamento anche piccolo, questo effetto di risonanza viene completamente eliminato.

Per quanto riguarda la componente dinamica della forza trasmessa al terreno, una volta determinato il moto del sistema essa può essere calcolata in maniera del tutto analoga al caso del sistema a un grado di libertà, utilizzando la formula:

$$f_{din} = k_p(y(t) - x_m(t)) = Re[k_p(Y_0 - X_{m0})e^{i\Omega t}] = Re(F_0 e^{i\Omega t}) \quad (4.38)$$



4-6



4-7

*Ampiezza di oscillazione della scocca adimensionalizzata rispetto all'ampiezza dell'irregolarità, rappresentata in funzione della frequenza adimensionale per diversi valori dello smorzamento adimensionale*

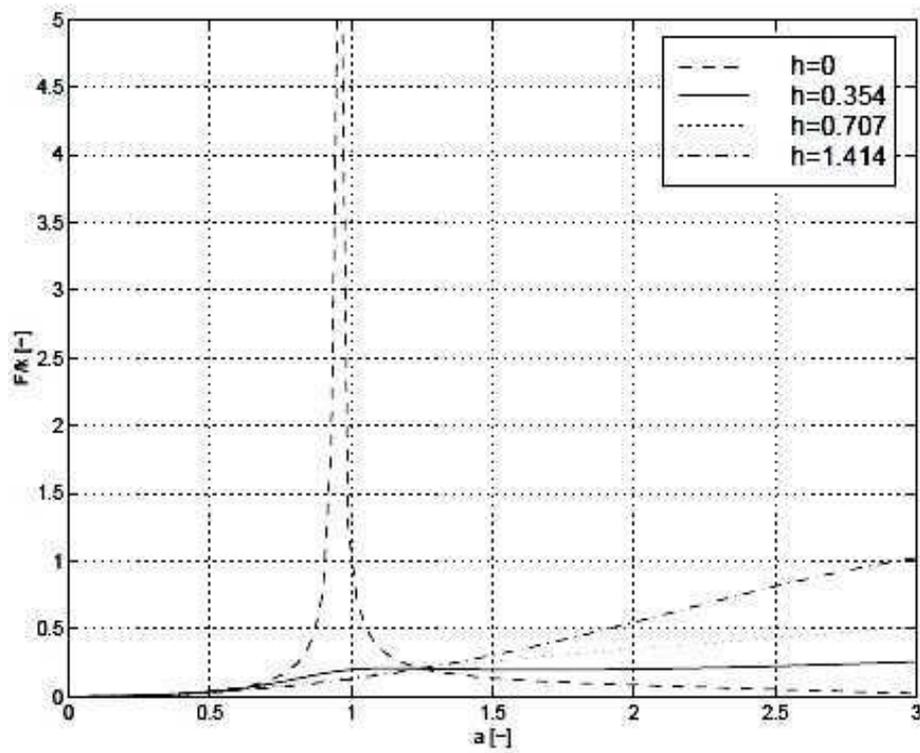
con

$$F_0 = k_p(Y_0 - X_{mo}) \quad (4.39)$$

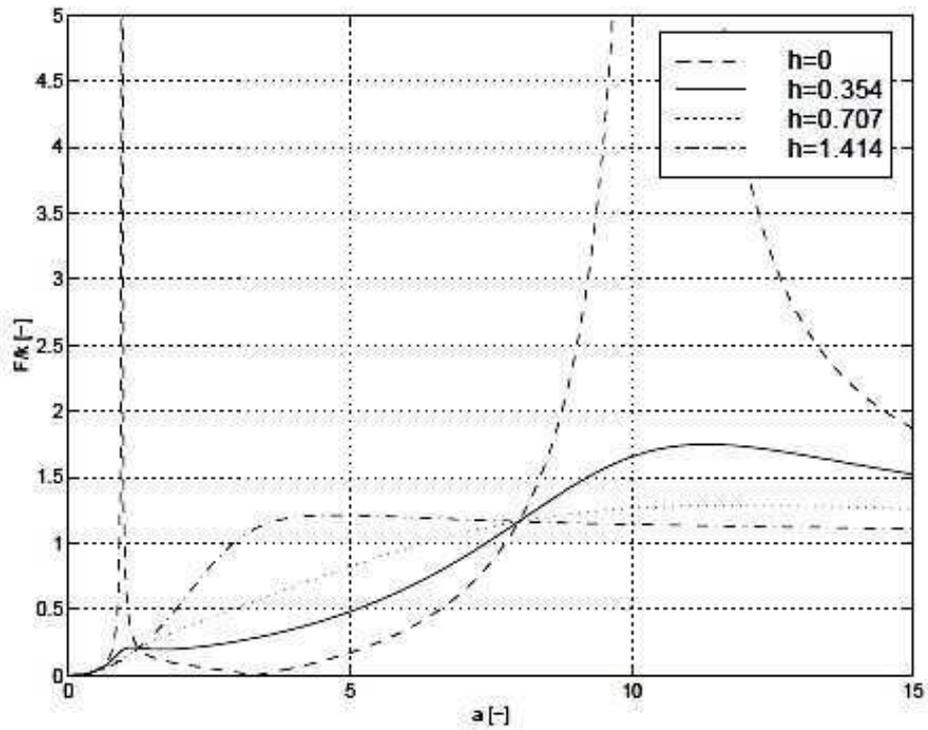
in cui le uniche differenze rispetto al sistema a un grado di libertà sono che viene usata la rigidità del pneumatico, non c'è termine di smorzamento perché non considerato per il pneumatico, e lo schiacciamento del pneumatico è calcolato come differenza tra lo spostamento impresso e il moto del pneumatico.

Il risultato relativo alla forza trasmessa è riportato in figura 4.8, anche in questo caso adottando due scale diverse in modo tale da consentire il confronto con il sistema a un grado di libertà e nello stesso tempo mostrare gli effetti delle masse non sospese sulla dinamica ad alta frequenza del sistema. Per quanto riguarda questa grandezza, si evidenziano importanti differenze rispetto al modello ad un grado di libertà (cfr. figura 4.4). Si conferma quindi che la presenza delle masse non sospese, pur influenzando poco la dinamica della cassa, riveste invece grande importanza nel determinare le forze scambiate con la strada.

In particolare, si osserva che nel campo di frequenze adimensionali  $a$  comprese fra 0 e 3 l'ampiezza della forza dinamica che si ottiene tenendo conto delle masse non sospese è molto inferiore rispetto al risultato del modello a un grado di libertà. Considerando un campo più vasto di frequenze (figura 4.9) si osserva che un valore relativamente basso di smorzamento adimensionale ( $h = \frac{\sqrt{2}}{4} = 0.354$ ) dà luogo a un basso valore della forza trasmessa alle basse frequenze ( $0 \leq a \leq 8$ ) ed invece a valori relativamente elevati della forza dinamica a frequenze superiori. Aumentando lo smorzamento della sospensione migliora il comportamento alle alte frequenze (la forza dinamica diminuisce), ma peggiora il comportamento della sospensione alle basse frequenze. Si identifica talvolta come valore "ottimo" dello smorzamento della sospensione quello corrispondente ad uno smorzamento adimensionale  $h = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707$  che, come mostrato dalla figura, rappresenta un buon compromesso, riuscendo a limitare la forza trasmessa alle basse come alle alte frequenze.



4-8



4-9

*Ampiezza della forza dinamica adimensionale in funzione della frequenza  $a$  per diversi valori dello smorzamento adimensionale  $h$*

## 4.4 UN MODELLO A QUATTRO GRADI DI LIBERTÀ

I modelli finora considerati tengono conto del moto verticale della scocca (scuotimento) e, nel caso del modello a due gradi di libertà, dell'effetto delle masse non sospese. Nessuno dei due modelli tiene però in conto l'effetto della rotazione di beccheggio (ossia attorno ad un asse orizzontale e perpendicolare al piano medio della vettura), che invece ha importanza non trascurabile nel determinare il comfort del veicolo.

Per tenere conto di questo effetto, si può utilizzare ad esempio un modello a 4 gradi di libertà come quello mostrato in figura 5.10, in cui la scocca del veicolo è rappresentata da un corpo rigido di dimensioni non trascurabili, poggiante su una sospensione anteriore e su una posteriore a loro volta collegate a due corpi che rappresentano le masse non sospese dei due assi della macchina.

Si osservi che questo modello ancora non consente di tenere conto dei moti di rollio del veicolo, ossia delle rotazioni che avvengono attorno ad un asse orizzontale giacente nel piano medio della vettura. Le rotazioni di rollio hanno però un effetto sul comfort meno rilevante rispetto ai moti di beccheggio.

Per il sistema mostrato in figura 4.10 occorre introdurre quattro coordinate libere, ad esempio lo spostamento verticale del baricentro cassa  $x_c$ , la rotazione di beccheggio della cassa  $\beta$  e i due spostamenti verticali delle due masse non sospese  $x_{ma}$  e  $x_{mp}$ . Per comodità rispetto alla trattazione successiva, tali coordinate possono essere inserite in un vettore colonna  $\underline{x}$ :

$$\underline{x} = \begin{Bmatrix} x_c \\ \beta \\ x_{ma} \\ x_{mp} \end{Bmatrix} \quad (4.40)$$

Le equazioni di moto del sistema possono essere ricavate ad esempio mediante il principio di sovrapposizione degli effetti, e assumono la forma matriciale:

$$[M]\underline{\ddot{x}} + [M]\underline{\dot{x}} + [K]\underline{x} = \underline{F_0}e^{i\Omega t} \quad (4.41)$$

in cui:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_m \end{bmatrix} \quad (4.42)$$

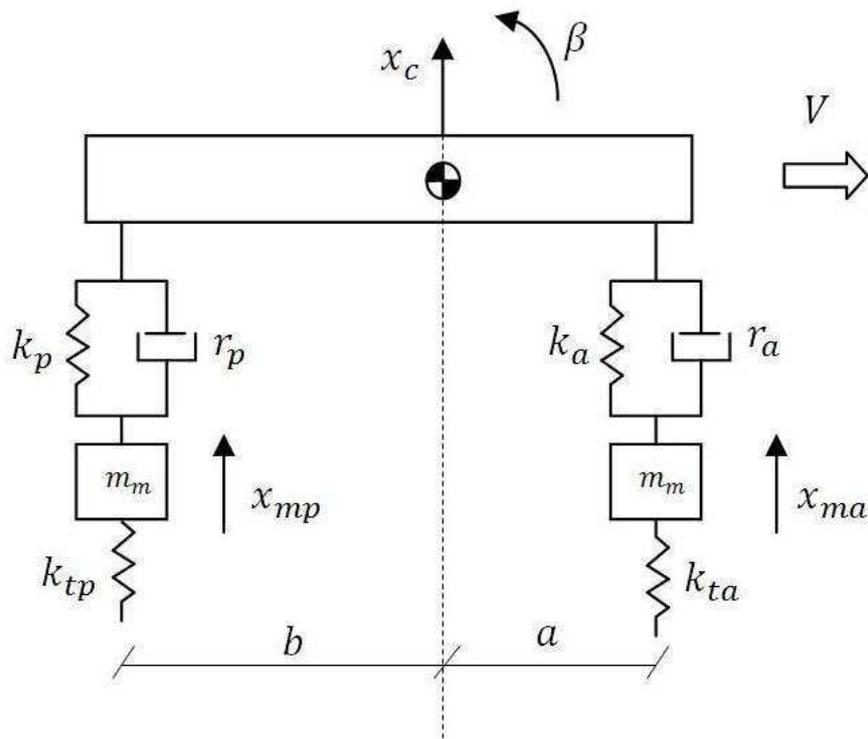
$$[R] = \begin{bmatrix} r_a + r_p & r_a a - r_p b & -r_a & -r_p \\ r_a a - r_p b & r_a a^2 + r_p b^2 & -r_a a & -r_p b \\ -r_a & -r_a a & r_a & 0 \\ -r_p & r_p b & 0 & r_p \end{bmatrix} \quad (4.43)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_a + k_p & k_a a - k_p b & -k_a & -k_p \\ k_a a - k_p b & k_a a^2 + k_p b^2 & -k_a a & -k_p b \\ -k_a & -r_a a & k_a + k_{ta} & 0 \\ -k_p & k_p b & 0 & k_p + k_{tp} \end{bmatrix} \quad (4.44)$$

$$\underline{F_0} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ k_{ta} y_a \\ k_{tp} y_p \end{Bmatrix} \quad (4.45)$$

La soluzione di questa equazione di moto, ed in particolare l'integrale particolare che rappresenta la risposta a regime del sistema alla sola irregolarità stradale, può essere trovata seguendo la stessa procedura descritta nel paragrafo precedente. In alternativa, se si considera una irregolarità non più di tipo semplicemente sinusoidale, ma di tipo random (somma casuale di molti contributi a diverse lunghezze d'onda), si può ottenere la risposta del sistema utilizzando un metodo di integrazione numerica al passo.

Più interessante per lo scopo di questo paragrafo è invece lo studio del moto libero del sistema ed in particolare il calcolo delle frequenze proprie e dei modi di vibrare del sistema considerato. Per calcolare queste quantità, si ipotizza per semplicità di trascurare l'effetto dello smorzamento.



4-10

Modello a quattro gradi di libertà del veicolo

Così facendo, si ottiene una equazione di moto semplificata nella forma:

$$[M]\ddot{\underline{x}} + [K]\underline{x} = 0 \quad (4.46)$$

in cui si impone una soluzione del tipo:

$$\underline{x} = X_0 e^{i\omega t} \quad (4.47)$$

sostituendo e semplificando opportunamente si ottiene:

$$(-\Omega^2[M] + [K])X_0 e^{i\omega t} = 0 \quad (4.48)$$

semplificando il termine esponenziale (sicuramente diverso da zero) si ottiene una equazione risolvente che rappresenta in forma matriciale un sistema lineare omogeneo. In base al teorema di Cramer, soluzioni non banali di questo sistema si hanno solo nel caso in cui la matrice dei coefficienti abbia determinante nullo.

Occorre quindi imporre:

$$\det(-\Omega^2[M] + [K]) = 0 \quad (4.49)$$

sviluppando tale equazione si ottiene una equazione di grado 8 nell'incognita  $\omega$ , che fornisce come soluzioni quattro coppie di valori puramente immaginari coniugati:

$$\omega = \pm\omega_1 \quad (4.60)$$

$$\omega = \pm\omega_2$$

$$\omega = \pm\omega_3$$

$$\omega = \pm\omega_4$$

in corrispondenza a ciascuna di queste soluzioni, dette "pulsazioni proprie" del sistema, si può ricavare un vettore soluzione della (5.55) che viene detto "modo di vibrare", e definisce la forma della vibrazione compiuta da sistema in moto con pulsazione pari alla particolare pulsazione propria considerata.

La forma dei modi di vibrare è importante perché, in base all'approccio modale, è possibile rappresentare il moto vibratorio del sistema in qualsiasi condizione (anche in presenza di forzamento dovuto all'irregolarità stradale) come composizione dei modi di vibrare determinati. Questo procedimento consente quindi di trarre importanti conclusioni sul moto subito dal veicolo durante la sua marcia su strada irregolare.

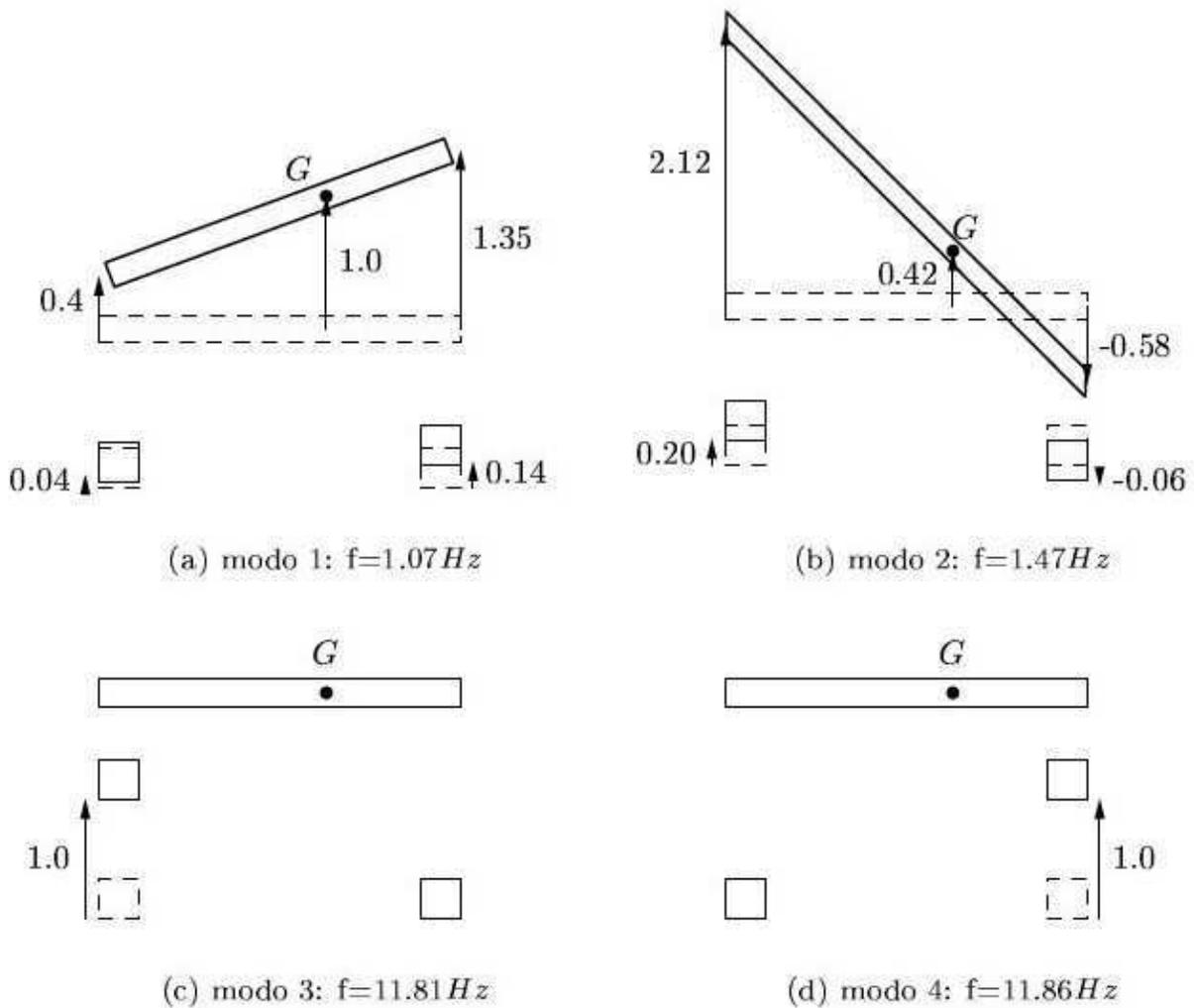
Data la complessità, si ritiene opportuno trattare l'argomento mediante un esempio, anziché in termini generali. Considerando i dati di massa, rigidità e dimensioni geometriche riportati in tabella 4.1, corrispondenti ad un autoveicolo di medie dimensioni, le frequenze proprie ed i modi di vibrare che si ottengono sono quelli mostrati in figura 4.29.

Si osserva che si hanno due modi di vibrare a bassa frequenza (compresi tra 1 e 1.5 Hz) cui il moto della scocca prevale su quello delle masse non sospese:

grandezza	simbolo	valore	unità
massa cassa	$m_c$	1500	[kg]
momento di inerzia cassa	$J$	1800	[kgm <sup>2</sup> ]
massa non sospesa (per asse)	$m_m$	40	[kg]
rigidezza sospensione ant. (per asse)	$k_a$	22000	[N/m]
rigidezza sospensione post.	$k_p$	20000	[N/m]
rigidezza pneumatico ant.	$k_{t_a}$	200000	[N/m]
rigidezza pneumatico post.	$k_{t_p}$	200000	[N/m]
distanza baricentro-asse anteriore	$a$	1	[m]
distanza baricentro-asse posteriore	$b$	1.7	[m]

4-1

*Dati numerici per un autoveicolo a due assi*



4-11

*Modi di vibrare di un autoveicolo a due assi (valori numerici riportati in tab 4.1)*

questi sono i due modi che assumono maggiore influenza sul comfort dei passeggeri, perché sono quelli che maggiormente contribuiscono al moto della cassa, ed anche perché, dato il valore delle corrispondenti frequenze proprie, manifestano maggiori effetti dinamici nel campo di frequenze (attorno a  $1 \div 2$  Hz) in cui il corpo umano è maggiormente sensibile alle vibrazioni prodotte dall'irregolarità stradale.

Tutti e due i modi a bassa frequenza comprendono una componente di traslazione della vettura ed una componente di rotazione attorno al baricentro; si osserva però che nel modo a più bassa frequenza (modo 1) prevale la traslazione, mentre nel modo 2 prevale la rotazione, tanto che i due estremi della scocca vibrano in direzione opposta, ed esiste un punto (detto "nodo") la cui ampiezza di vibrazione è nulla. Un criterio talvolta adottato per migliorare il comfort di marcia è quello di posizionare il nodo in corrispondenza dei sedili dei passeggeri anteriori: utilizzando questo accorgimento, il secondo modo di vibrare non contribuisce alla vibrazione avvertita dai passeggeri anteriori, che si trovano così soggetti alla sola vibrazione prodotta dal primo modo di vibrare.

I modi di vibrare denominati 3 e 4 corrispondono a frequenze proprie molto superiori ai primi due (circa 12 Hz), e determinano quasi esclusivamente il moto delle masse non sospese; di conseguenza, questi modi di vibrare influenzano in modo marginale il comfort, ma hanno invece molta importanza nel determinare la variazione dinamica della forza di contatto tra pneumatico e strada sui due assi.

Queste considerazioni, pur essendo ricavate attraverso un esempio, risultano rappresentative (nei soli aspetti qualitativi) per gli autoveicoli a due assi destinati principalmente al trasporto passeggeri.

## **4.5 APPLICAZIONE DEL MODELLO AL CASO IN ESAME**

Dopo alcune prove è emerso che l'applicazione del modello a quattro gradi di libertà al caso in esame, cioè ipotizzando un container su camion con all'interno i riuniti odontoiatrici in esame risulterebbe troppo oneroso e complesso.

Le assunzioni da fare sarebbero numerose e troppo aleatorie, come ad esempio la non ciclicità di una forzante completamente sconosciuta dovuta alle irregolarità stradali.

Inoltre i fenomeni impulsivi, come le buche, contengono nel proprio spettro quasi tutte le frequenze e quindi sono difficilmente modellizzabili.

Tutti questi aspetti renderebbero inutile anche un modello molto semplificato, poiché fornirebbe risultati troppo distanti dal caso reale.

Una strada percorribile sarebbe sicuramente quella dell'utilizzo di tavole vibranti, sulle quali posizionare i riuniti, e , dopo aver impostato opportuni cicli vibratorii che simulino il trasporto, andare a misurare le risposte in frequenza in alcuni punti di interesse.



4-12 [7]

Nella Fig. 5.3 sono riportati alcuni valori di riferimento di frequenze vibratorie per le varie tipologie di trasporto.



## 5 LE PROTEZIONI DAGLI URTI E DALLE VIBRAZIONI [1]

Un buon imballaggio deve preservare l'integrità del materiale imballato a partire dal momento della fabbricazione fino al momento dell'utilizzo. La concezione di un imballaggio efficace deve tener conto di due parametri: le sollecitazioni meccaniche legate all'ambiente, come la movimentazione, il magazzinaggio ed il trasporto (vedi capitolo 4) e la fragilità del materiale imballato.

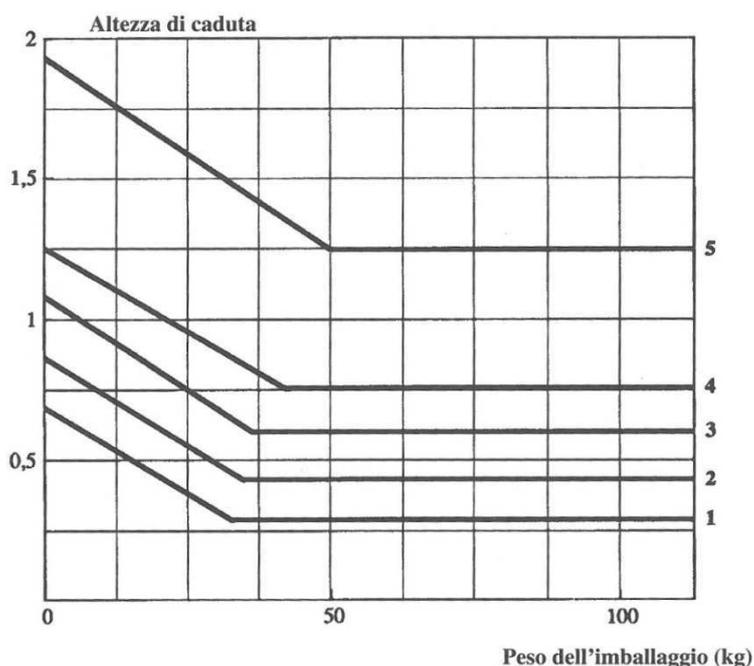
Nella realizzazione di un imballaggio si studierà in modo particolare la struttura in grado di permettere al materiale imballato di resistere alle deformazioni, la *sospensione* antiurto intesa a ridurre le accelerazioni subite durante le cadute, e l'*ammortizzamento* delle vibrazioni diretto a filtrare le frequenze vibratorie dannose per il materiale imballato.

### 5.1 LE SOLLECITAZIONI MECCANICHE LEGATE ALL'AMBIENTE

#### 5.1.1 Sollecitazioni di movimentazione

È nel corso delle movimentazioni che gli imballaggi subiscono gli urti maggiori, originati principalmente dalle cadute libere. Questo tipo di rischio viene valutato in termini di altezza di caduta. Le altezze di caduta probabili sono inversamente proporzionali alla massa lorda dell'imballaggio: più un collo è pesante, meno rischia di cadere dall'alto. La distribuzione probabilistica delle cadute in funzione delle altezze è illustrata nel grafico della figura 5.1.

Probabilità: 1 : 10% - 2 : 1% - 3 : 0,5% - 4 : 0,1% - 5 : 0,01%



5-1

*Distribuzione probabilistica delle cadute in funzione dell'altezza di caduta durante le movimentazioni, in funzione del peso dell'imballaggio*

### 5.1.2 Sollecitazione di magazzinaggio

I piccoli colli vengono raggruppati in carichi palettizzati o in casse pallet, oppure immagazzinati in scaffalature. Nel trasporto marittimo, i carichi palettizzati possono essere trasportati in container o in divisori. Le sollecitazioni teoriche di compressione statica vengono calcolate a partire dalle seguenti altezze di impilamento: trasporto in container: 2,5 m; trasporto in divisori: 5 m.

Massa dell'imballaggio (kg)	Altezza di caduta (cm)
Meno di 10	80
da 10 a 19	60
da 20 a 29	50
da 30 a 39	40
da 40 a 49	30
da 50 a 99	20
100 e più	10

5-2

*Altezza di caduta corrispondente ad un rischio medio nel trasporto al dettaglio, in funzione della massa dell'imballaggio*

### 5.1.3 Sollecitazioni di trasporto

Nel corso della distribuzione fisica, tutti gli oggetti imballati subiscono delle sollecitazioni dinamiche (urti e vibrazioni) di intensità proporzionale alle energie sviluppate dai movimenti dei mezzi di trasporto impiegati (aerei, navi, vagoni ferroviari, autocarri). I livelli di vibrazioni rilevati nei vari mezzi di trasporto sono indicati nella figura 5.3, e la relativa distribuzione probabilistica è illustrata nella figura 5.4.

Veicolo	Origine della vibrazione	Caratteristiche della vibrazione	
		Frequenza (Hz)	Livello (g)
Vagone ferroviario	Sospensione verticale	tra 2 e 7	0,5
	Sospensione laterale	tra 0,75 e 2	0,75
	Struttura	tra 50 e 70	0,25
Camion	Sospensione	2 - 4 - 7	0,5
	Vibrazione delle masse non sospese	tra 10 e 20	0,25
	Struttura	tra 50 e 100	0,25
Camion su vagone	Vibrazione verticale	tra 2 e 4,6	1 - 10
Aereo	A elica	tra 2 e 10	/
	A reazione	tra 100 e 200	/
Nave	Movimento del mare		
	{•} Traslazioni in senso verticale		1,8
	{•} Rollio, beccheggio		1,2
	{•} Effetti del motore sulla struttura	100	/

5-3

#### *Vibrazioni rilevate nei vari mezzi di trasporto*

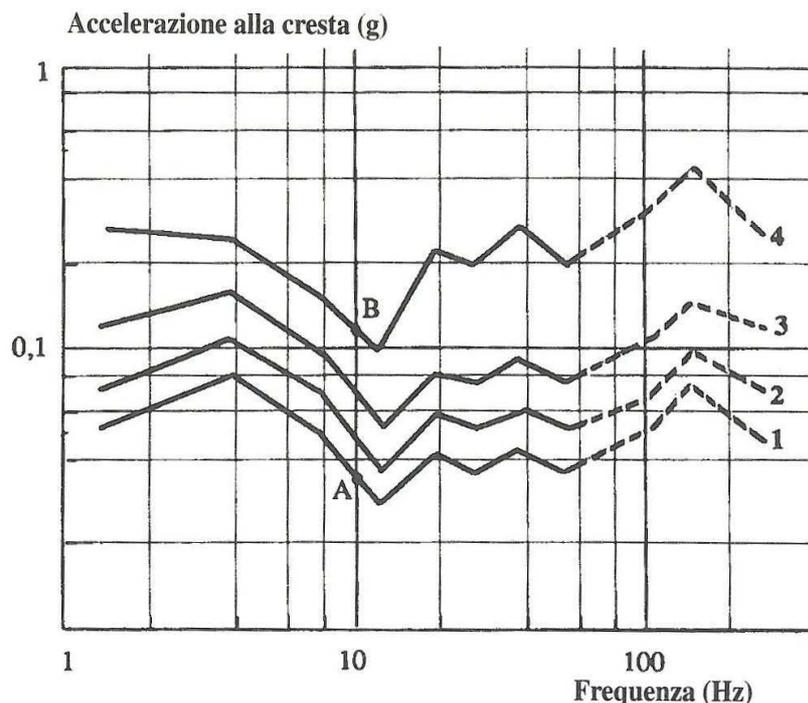
I movimenti della nave in mare modificano l'intensità di queste sollecitazioni nel modo seguente:

{•} Movimenti attorno al piano verticale (traslazioni in senso verticale): lo sforzo di compressione teorica va moltiplicato per 1,8.

{• } Movimenti attorno ad assi posti sul piano orizzontale: il rollio e il beccheggio imprimono alle masse sovrapposte a ciascun collo, sul piano del lato superiore, uno sforzo trasversale alternato (pari a circa il 20% dello sforzo di compressione; periodo di 30 s circa) che tende a destabilizzarne la struttura.

Nel trasporto aereo, i carichi palettizzati non vengono accatastati.

Probabilità: 1: 90% - 2: 95% - 3: 99% 4: Accelerazione alla cresta



5-4

*Vibrazioni durante la distribuzione: livello di frequenza e accelerazione, probabilità di comparsa. **Esempio:** In un circuito di distribuzione un imballaggio è sottoposto a vibrazioni. Avrà il 90% di probabilità di subire vibrazioni in frequenza 10Hz a un livello di accelerazione di 0.036g (punto A), e l'accelerazione massima non potrà superare 0.08 g*

#### 5.1.4 Nozione di rischio

Nel corso della distribuzione fisica tutti gli oggetti imballati subiscono delle sollecitazioni dinamiche, costituite da urti e vibrazioni. La comparsa delle vibrazioni durante il trasporto è certa, in quanto tutti i mezzi di trasporto vibrano; non altrettanto certa è invece la comparsa di sollecitazioni d'urto o di caduta.

La probabilità che gli imballaggi subiscano urti di debole intensità (dovuti ad esempio alla caduta dal veicolo di trasporto) è bassa ma non si può escludere totalmente. La protezione nei confronti degli urti di debole intensità appare in ogni caso indispensabile: se non la si attuasse le avarie sarebbero piuttosto numerose, e provocherebbero un aggravio di costi certamente superiore a quello indotto dall'adozione di accorgimenti precauzionali.

Non altrettanto indispensabile è invece la protezione nei confronti degli urti di forte intensità: in primo luogo una protezione efficace rappresenta un'operazione delicata e costosa, e in aggiunta a ciò il numero di avarie si può

ridurre a livelli minimi con una normale protezione. Da quanto si è detto risulta evidente che già prima di concepire un imballaggio si deve decidere il livello di protezione che si intende adottare, e quindi implicitamente ammettere il rischio che la protezione adottata risulti insufficiente in un certo numero di casi.

### **5.1.5 Scelta del livello di protezione**

Chi spedisce un collo deve scegliere quale livello di protezione adottare alla luce di fattori di carattere prettamente economico (costo del prodotto, numero di prodotti spediti) nonché di elementi di natura logistica (dimensioni del prodotto, caratteristiche del circuito di distribuzione). La scelta del livello di protezione si traduce in molti casi nell'individuazione di una particolare altezza di caduta. Alla luce delle considerazioni economiche, chi spedisce correggerà verso l'alto o verso il basso l'altezza di caduta consigliata dalla norma. L'altezza di caduta fissata servirà come dato di riferimento per l'intera fase di messa a punto dell'imballaggio.

## **5.2 FRAGILITÀ DEGLI OGGETTI IMBALLATI**

Le sollecitazioni sopportate dagli oggetti imballati durante il trasporto e la movimentazione sono, in genere, molto diverse da quelle a cui gli stessi oggetti saranno sottoposti durante il loro utilizzo, e possono incidere sull'affidabilità degli oggetti stessi. Esistono diverse forme di fragilità di origine meccanica: le principali sono le fragilità di struttura, le fragilità di superficie, le fragilità agli urti e le fragilità alle vibrazioni.

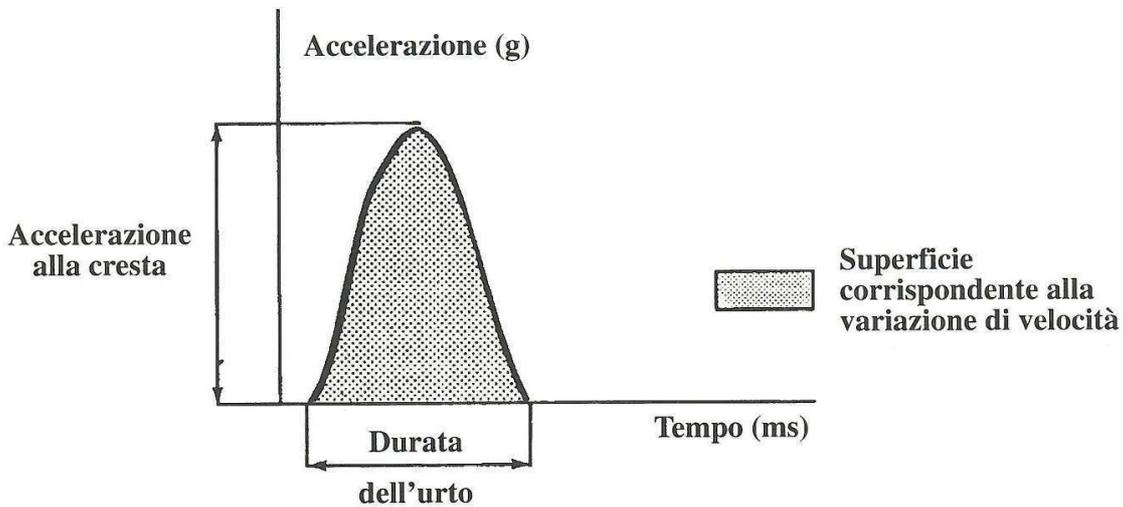
### **5.2.1 Fragilità di struttura e fragilità di superficie**

Le fragilità di struttura sono legate alla mancanza di rigidità della struttura, e possono dar luogo a flessioni o forature. Impongono l'uso di imballaggi rigidi che evitino le deformazioni e le sollecitazioni localizzate mediante una disposizione appropriata delle imbottiture. Le fragilità di superficie sono invece costituite dai rischi di abrasione o rigatura delle superfici esterne.

### **5.2.2 Fragilità agli urti**

L'urto è un'accelerazione variabile applicata per un periodo di tempo molto breve. Le sue principali caratteristiche sono illustrate nella figura 5.5. È noto che i danni causati ad un prodotto non dipendono solo dall'accelerazione

massima, ma anche dalla durata. La fragilità di un prodotto va definita sulla base di 2 dei 3 parametri riportati qui di seguito: ampiezza massima dell'urto, durata dell'urto, velocità critica.



5-5

*Parametri caratteristici di un segnale d'urto*

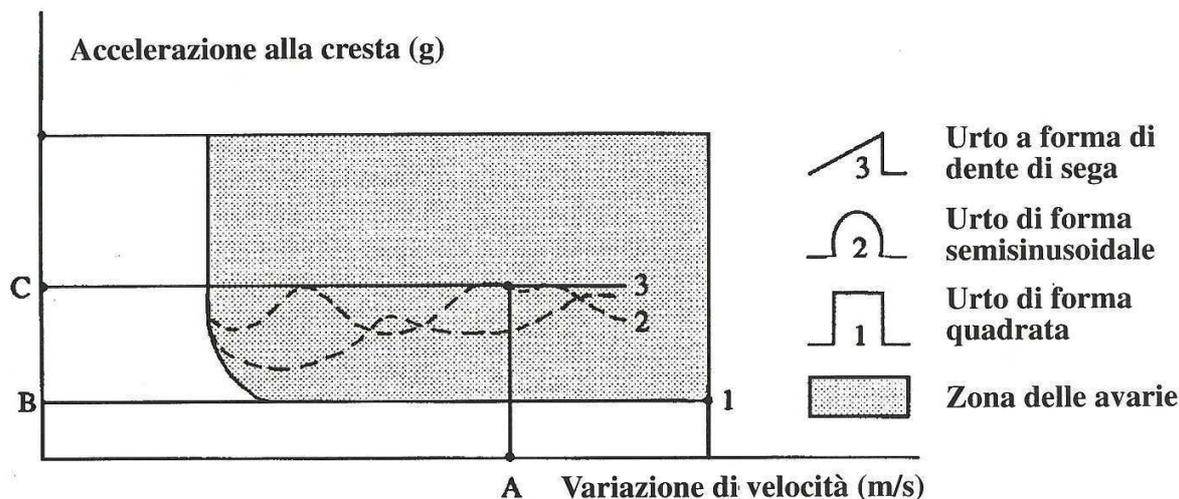
Gli urti sono provocati principalmente dalle cadute libere. Le accelerazioni che intervengono in tali cadute danno luogo a forze che provocano sollecitazioni eccessive a carico dei componenti del prodotto, provocando in questo modo delle avarie.

### **{ • } Ricerca della fragilità di un prodotto**

In teoria, l'ambito di fragilità di un prodotto si presenta come il diagramma della figura 5.6.

L'ambito di fragilità è delimitato da due linee:

- una linea verticale, che rappresenta la variazione di velocità corrispondente alla velocità d'impatto critica del prodotto. Prima di tale linea il prodotto non subisce alcun danno.
- una linea generalmente orizzontale, che rappresenta l'accelerazione critica. Al di sotto di tale linea il prodotto non subisce alcun danno. Il diagramma presenta varie linee di accelerazione critica, perché questo particolare fattore dipende dalla forma dell'urto applicato.



5-6

*Zona delle avarie secondo il segnale d'urto*

**Esempio:** Ipotizziamo un collo che cada in caduta libera senza rimbalzare, la velocità di caduta sarà uguale alla variazione di velocità A.

- Se il suolo è duro, la forma dell'urto corrisponderà a un segnale quadrato; tutte le accelerazioni che oltrepassano il livello B provocheranno delle avarie.
- Se il suolo è morbido, la forma dell'urto corrisponderà ad un segnale semisinusoidale, e si produrranno avarie solamente per accelerazioni di valore superiore ( $C > B$ ).

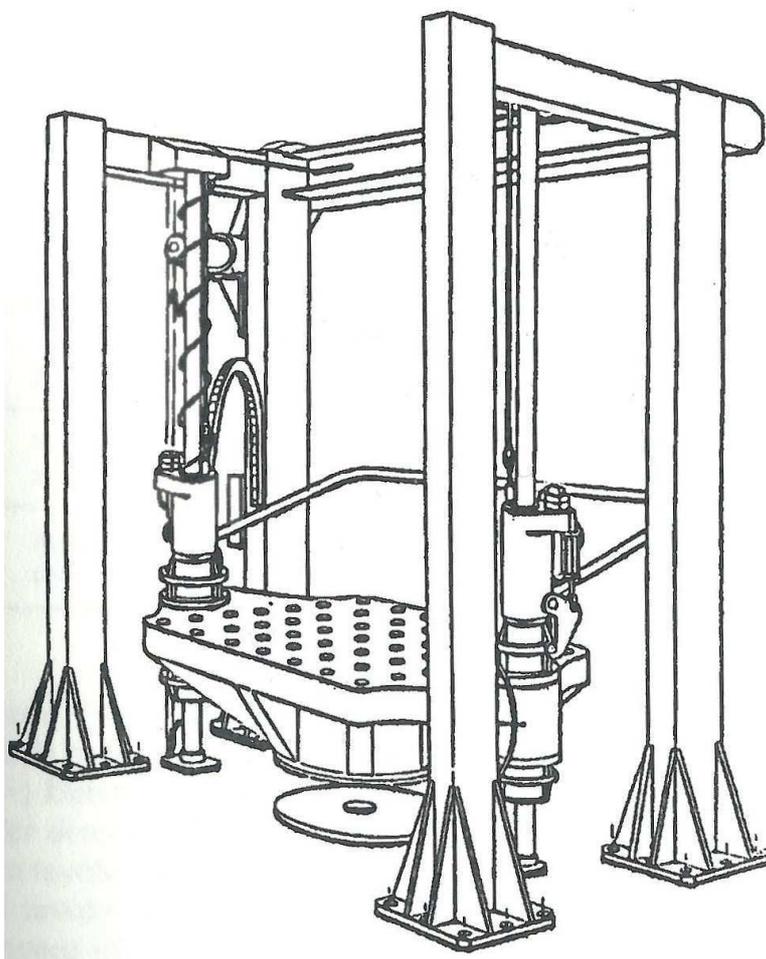
### { • } Determinazione della fragilità di un prodotto su tavolo ad urti

Per determinare oggettivamente il livello di fragilità agli urti si deve utilizzare un tavolo ad urti.

Il tavolo ad urti è raffigurato nella figura 5.7. Il tavolo ad urti permette di determinare, per l'oggetto in questione, la velocità critica e l'accelerazione critica, nelle direzioni dei tre assi ortogonali, adottando come parametro di prova:

- Urti di forma semisinusoidale. Studi effettuati presso l'LNE dimostrano che i prodotti imballati protetti da materiali ammortizzanti sono sottoposti, durante le cadute libere, a onde d'urto di forma semisinusoidale;
- un'energia d'urto (vale a dire una variazione di velocità) equivalente alla velocità d'urto corrispondente all'altezza di caduta libera ammessa come livello di protezione, moltiplicata per il coefficiente di rimbalzo del materiale ammortizzante che verrà utilizzato. A titolo indicativo, nella figura 6.7 si riporta il

coefficiente di rimbalzo di alcuni materiali ammortizzanti impiegabili per una particolare applicazione (schiume o gusci destinati alla protezione di articoli prodotti in grande serie).



### Caratteristiche

Semisinusoidale, a dente di sega e trapezoidale.

Velocità massima d'impatto 6 m/s.

Tavolo di 1000 X 1000 mm.

Massa massima del provino 2 tonnellate.

Urti da 2 a 200 ms.

(Fonte: SEREME)

5-7

*Tavolo ad urti a "caduta libera" CL 1000*

MATERIALE	Campo d'impiego (g/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente di rimbalzo
Schiuma polietilenica	da 40 a 200	1,55
Polietilene stampato	da 30 a 80	1,45
Schiuma poliuretana	da 5 a 40	1,2
Poliuretano stampato	da 70 a 220	1,60
Schiuma poliuretana istantanea	da 25 a 30	1,50
Polistirene	da 50 a 200	1,50
Polistirene particolare	da 5 a 30	1,6

5-8

*Coefficienti di rimbalzo dei principali materiali ammortizzanti*

Quando non è possibile determinare il livello di fragilità dei prodotti da proteggere si possono utilizzare i valori indicativi riportati nella figura 6.9.

Categoria di apparecchi	Oggetti-tipo	Accelerazioni massime (g)
Estremamente fragile	Dispositivi elettronici di comando Strumenti di precisione	15-25
Molto fragile	Strumenti elettronici montati su supporto che assicura una protezione dagli urti	25-40
Fragile	Strumenti di navigazione aerea Stampanti per computer	40-60
Moderatamente fragile	Apparecchi televisivi Componenti elettronici	60-85
Scarsamente fragile	Elettrodomestici	85-115
Scarsissimamente fragile	Macchine utensili	115

5-9

*Fragilità degli apparecchi imballati (valori indicativi)*

### 5.2.3 Fragilità alle vibrazioni

I macchinari e le apparecchiature in genere sono di norma sensibili alle vibrazioni, e risultano tanto più vulnerabili se contengono parti a sbalzo. Il metodo da utilizzare per determinare la fragilità alle vibrazioni consta di tre fasi:

- 1) determinazione delle frequenze di risonanza del prodotto;
- 2) conoscenza dei campi di frequenza dei vari mezzi di trasporto impiegati nel circuito di distribuzione;
- 3) determinazione delle avarie che si possono verificare se il prodotto viene sottoposto a vibrazioni nei campi di frequenze critiche alle ampiezze riscontrate nel circuito di distribuzione.

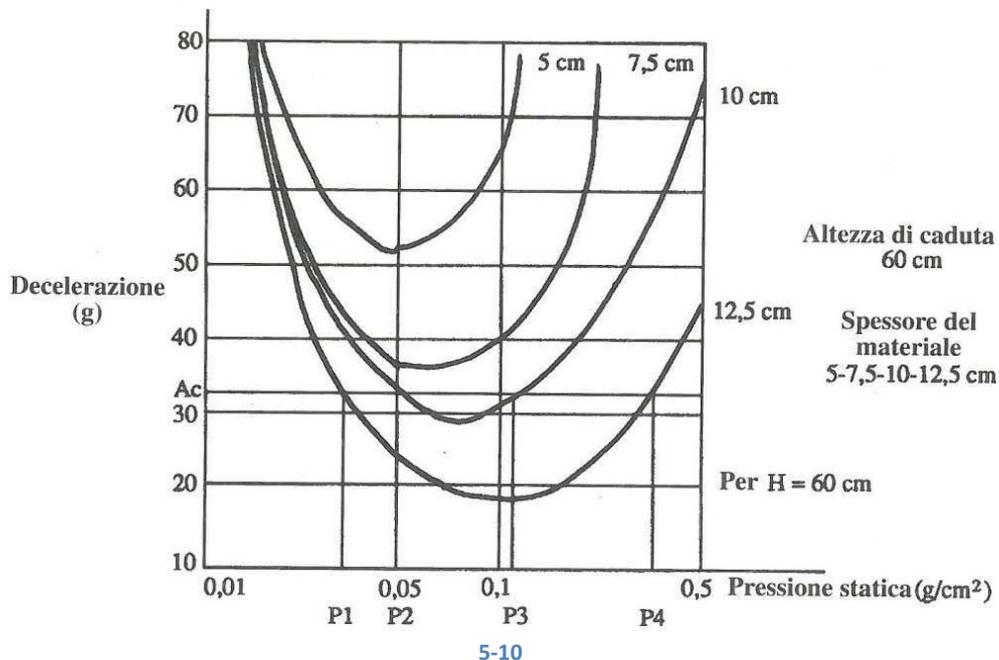
La frequenza di risonanza di un prodotto si determina con l'ausilio di un tavolo vibrante animato da movimento verticale. Il prodotto viene fissato rigidamente al tavolo e sottoposto all'intera gamma di frequenze comprese fra 3 e 100 Hz, ad un livello d'accelerazione costante compreso di norma tra 0,1 e 0,5 g.

La frequenza di risonanza viene determinata direttamente calcolando il rapporto tra il segnale di due accelerometri, fissati uno al tavolo e l'altro al prodotto.

### **5.3 DETERMINAZIONE SPERIMENTALE DELLE CURVE DI AMMORTIZZAMENTO DEI MATERIALI**

Per sfruttare al meglio le proprietà dei materiali ammortizzanti è necessario conoscerne a fondo le caratteristiche tecniche. Le avvertenze per l'uso fornite da fabbricanti e rivenditori di materiali riportano talvolta dei dati, che però hanno un'utilità limitata in primo luogo perché le condizioni sperimentali in cui sono stati ottenuti non riflettono le condizioni reali di utilizzo del materiale, e in secondo luogo perché dal momento che le procedure di prova sono diverse non è possibile porre direttamente a confronto due materiali diversi.

Per determinare con precisione le caratteristiche ammortizzanti dei vari materiali, l'LNE ha elaborato una procedura di prova che tiene conto dei parametri d'impiego dei materiali e che è resa riproducibile dall'uso di un tavolo ad urti. Tale procedura prevede la misurazione dell'accelerazione subita da un modello dell'oggetto in esame protetto da un materiale ammortizzante specifico, posto entro una cassa esterna sottoposta ad un urto perfettamente determinato e riproducente una caduta libera. Facendo variare i parametri di prova (massa del modello, spessore del materiale ammortizzante, caratteristiche dell'impatto, condizioni d'impiego del materiale) si ottengono tutti i dati necessari per utilizzare in modo ottimale il materiale. La figura 5.10 presenta un esempio ottenuto con una schiuma polietilenica impiegata per una imbottitura superficiale non debordante con una velocità d'urto corrispondente ad una caduta di 60 cm.



*Esempi di caratteristiche di ammortizzamento di un materiale*

## 5.4 SCELTA E DIMENSIONAMENTO DEI RIVESTIMENTI AMMORTIZZANTI.

### PROTEZIONE DAGLI URTI

#### 5.4.1 Criterio della velocità critica

Se la velocità critica del materiale da imballare è superiore alla velocità d'urto corrispondente ad una caduta libera da altezza pari al livello di protezione richiesto, la protezione dagli urti non è necessaria.

#### 5.4.2 Criterio dell'accelerazione critica

Le caratteristiche di ammortizzamento degli urti dei materiali si presentano sotto forma di diagramma accelerazione-pressione statica, con diverse curve in funzione dello spessore del materiale. Lo studio comprende le seguenti fasi: scelta di un diagramma corrispondente all'altezza di caduta scelta come livello di protezione, e tracciamento sul diagramma di una linea orizzontale corrispondente al livello dell'accelerazione critica del macchinario o dell'apparecchiatura da imballare.

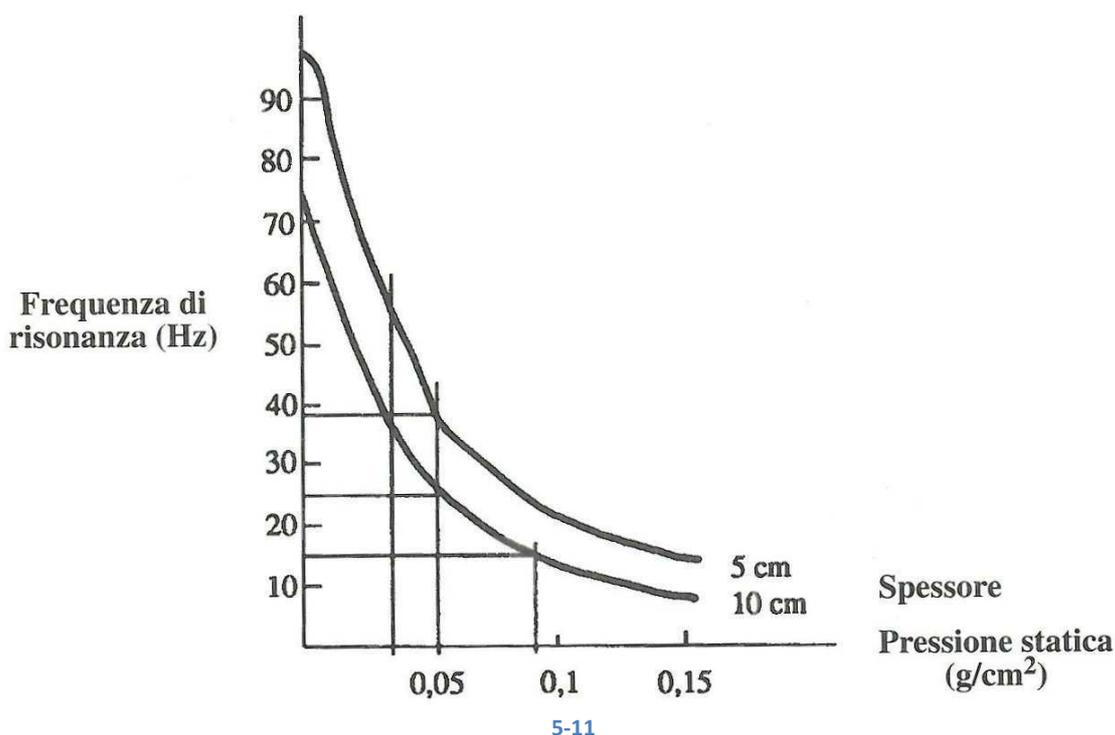
Tutte le combinazioni spessore-pressione statica che si situano al di sotto di questa linea orizzontale sono in grado di garantire la protezione dagli urti: nell'esempio illustrato nella figura 5.10 si tratta di uno spessore di 10 cm tra le pressioni P2 e P3, o uno spessore di 12,5 cm tra le pressioni P1 e P4. Prima di operare la scelta definitiva, occorrerà verificare che l'utilizzo del materiale

ammortizzante nelle condizioni reali non introduca fattori che possano modificare le caratteristiche ammortizzanti del materiale (perforazioni, flessioni, etc.) e che lo smorzamento delle vibrazioni sia assicurato.

### 5.4.3 Verifica della protezione dalle vibrazioni

La protezione dalle vibrazioni costituisce un problema delicato, perché l'ammortizzamento deve:

- isolare le frequenze di risonanza dell'oggetto da imballare, vale a dire spostare la frequenza di risonanza del materiale ammortizzante in bassa frequenza, sotto le frequenze di risonanza dell'oggetto;
- evitare di porre la frequenza di risonanza del materiale ammortizzante in una zona in cui le frequenze di vibrazione dei mezzi di trasporto sono potenti (soprattutto da 2 a 15 Hz). Le caratteristiche di smorzamento delle vibrazioni di un materiale ammortizzante si presentano come un diagramma frequenza di risonanza-pressione statica, con varie curve corrispondenti ai diversi spessori del materiale (figura 5.11).



*Esempi di caratteristiche vibratorie di un materiale ammortizzante*

Chi si occupa della progettazione degli imballaggi deve quindi scegliere, nelle combinazioni spessore-pressione statica atte a garantire l'ammortizzamento degli urti, lo spessore e la pressione statica che permettano di situare in modo

corretto la frequenza di risonanza. Conoscendo la pressione statica fissata, la superficie del materiale ammortizzante si deduce in rapporto alla massa dell'oggetto da imballare.



## 6 ANALISI DELLA CRITICITA'

La mia attività è focalizzata esclusivamente al collo del riunito, non prendo in considerazione problematiche relative alla poltrona.

In questa fase ho analizzato i reclami degli ultimi cinque anni, cercando di categorizzarli in base alla tipologia di danneggiamento ed all'organo coinvolto.

<b>ORGANO COINVOLTO</b>	<b>Q.TA'</b>
Bacinella	8
Gruppo Idrico	8
Braccio fisso e braccio pantografo	8
Tavoletta medico	8
Tavoletta Tray	6
Cassetta allacciamenti	4

### 6.1 BACINELLA

Può essere in vetro oppure ceramica, in entrambi i casi è un componente molto fragile e necessita quindi di un'adeguata protezione.



6-1



6-2

#### 6.1.1 Come viene protetta attualmente

Attualmente in entrambi i casi si utilizza lo stesso metodo di imballaggio ( Figura 6.1). Viene utilizzato un sacco di pluriball fissato con scotch, la bacinella viene poi ruotata fino ad appoggiarsi contro il gruppo idrico. Viene inoltre

aggiunto una protezione di polietilene da 10 mm per proteggerla dalla staffa di supporto della tavoletta medico.



6-3

### 6.1.2 Quali sono le criticità

Come si può notare, esiste una staffa metallica con funzioni strutturali di sostegno della tavoletta medico, posizionata troppo vicino alla bacinella.

Questa staffa possiede poi un' altissima pericolosità per gli operatori che la maneggiano, poichè in ottica di riduzione dei costi non subisce alcun trattamento superficiale dopo le lavorazioni di taglio e saldatura.



6-4



6-5

L'operatore fissa poi la tavoletta medico alla staffa, risulta evidente la pericolosità del perno che servirà a montare la tavoletta tray, utilizzata come superficie di scambio tra medico e dentista, data la minima vicinanza, con le vibrazioni da trasporto andrà a contatto con la bacinella.



6-6



6-7

All'apertura dell'imballaggio, nel caso migliore, la bacinella presenterà segni di sfregamento ( Figura 6-6 ),in quello peggiore la completa distruzione (Figura 6-7/8) .



6-8



6-9

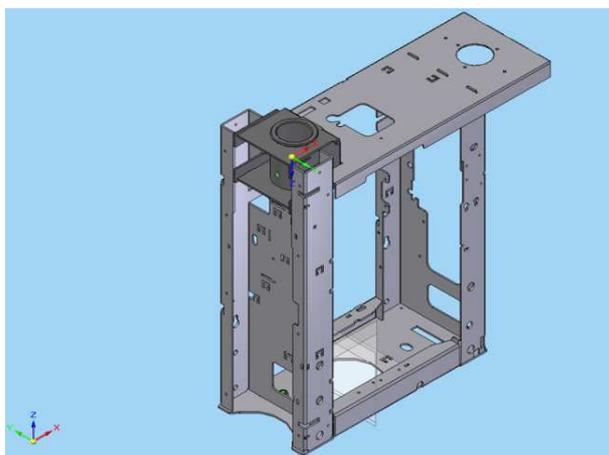


6-10

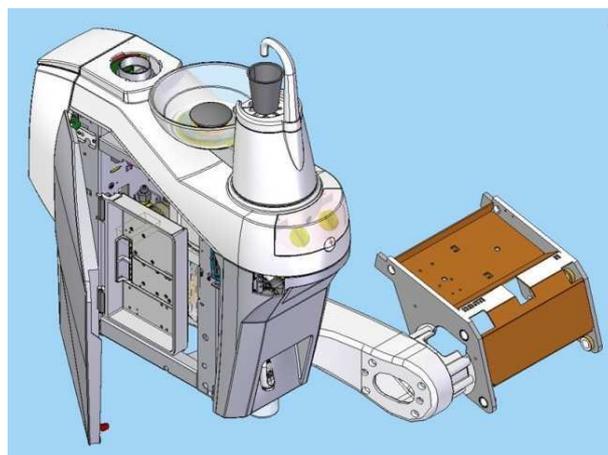
## 6.2 IL GRUPPO IDRICO

E' il cuore del riunito odontoiatrico, al suo interno sono collocati le schede elettroniche di gestione, i sistemi di separazione, i serbatoi dei liquidi igienizzanti e numerosi altri componenti necessari al funzionamento dell'apparacchiatura.

E' composto internamente da una struttura in lamiera di acciaio con le predisposizioni per i vari componenti sopra citati, la copertura esterna viene invece apportata con carter in plastica.



6-11



6-12

### 6.2.1 Come viene protetto attualmente



6-13



6-14

Viene fissato ad una piastra verticale, a sua volta collegata ad un'ulteriore piastra avvitata al pallet (Figura 6-11). Dalla parte opposta, viene appoggiato ad un'altra piccola piastrina (Figura 6-12).

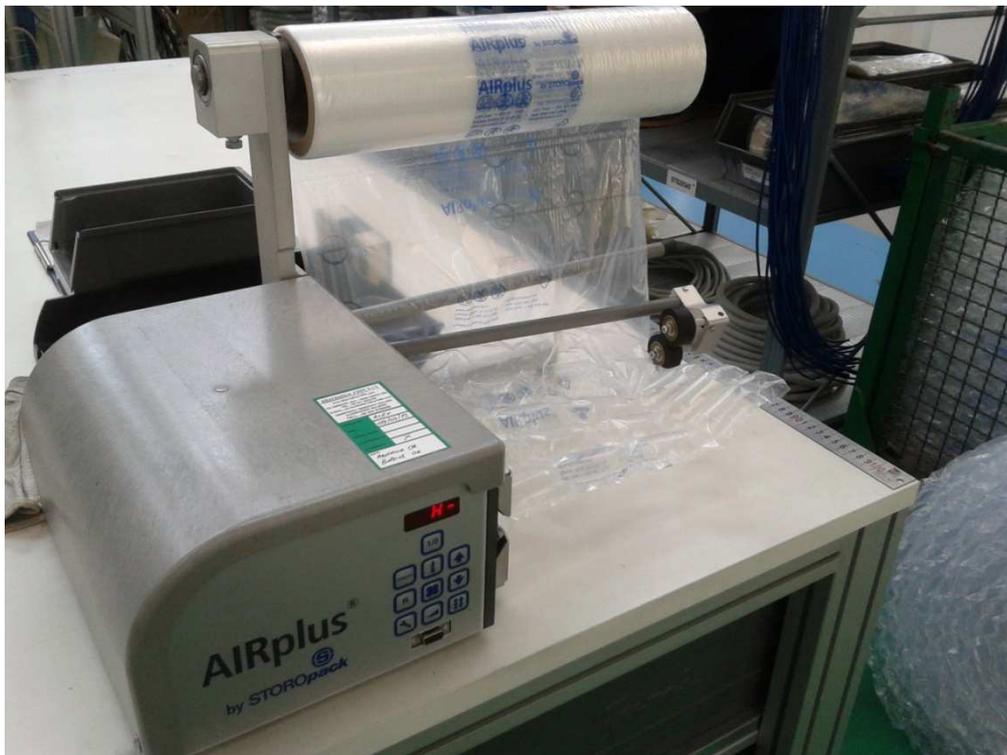
Lo sportello viene smontato e posizionato all'interno della scatola corredo.

Il tutto viene poi avvolto con una protezione gonfiabile oppure con pluriball a seconda dello spazio disponibile.

### 6.2.2 Quali sono le criticità

Le piastre di acciaio hanno sicuramente un'ottima resistenza meccanica e dati gli alti pesi in gioco, svolgono una funzione di sostegno alle sollecitazioni flessionali. L'aspetto negativo è la difficoltà nel maneggiarle per l'operatore e la necessità di dover utilizzare avvitatori, che aumentano i tempi di manodopera. Inoltre la protezione gonfiabile è ad una pressione troppo bassa (circa 0.3 bar ) e le camere sono tutte connesse tra loro verticalmente, cioè se si dovesse forare un solo scompartimento, si sgonfierebbero tutti quelli sulla stessa colonna.

E questo capita molto spesso, anche solo nell'operazione di imballaggio.



6-15

Questo avvenimento andrà ad impattare sulla fase di trasporto, in quanto le plastiche di copertura, non essendo più protette, possono sfregare contro il cartone, giungendo così rovinate alla consegna ( Figura 6-14 ).



6-16

## 6.3 BRACCIO FISSO E BRACCIO PANTOGRAFO

Entrambi questi bracci, al variare del modello di riunito, possono essere di diverse dimensioni, avere coperture plastiche oppure essere profili estrusi. Inoltre in diversi casi, esistono modelli di riuniti con due o tre possibili lunghezze di bracci.

Per questi motivi è un componente particolarmente complesso da proteggere e posizionare all'interno dell'imballo.

### 6.3.1 Come vengono protetti attualmente

Attualmente, in fase di imballo, le rotazioni vengono bloccate grazie al fissaggio della tavoletta medico alla staffa.



6-17



6-18

### 6.3.2 Quali sono le criticità

Le superfici che possono entrare in contatto tra loro oppure contro altri organi vengono salvaguardate con protezioni in polietilene.

Questo è un aspetto molto critico, poichè l'operatore, pur disponendo di istruzioni dettagliate sulle operazioni da effettuare, può fare confusione tra i tanti modelli in produzione e quindi dimenticarsi o non centrare le esatte posizioni.

Un ulteriore problema riguarda i lunghi viaggi in mare che i container devono subire per raggiungere altri continenti, poichè come tutte le altre parti metalliche presenti, subisce danni a causa della salsedine.

Si potrebbe anche valutare di effettuare ulteriori trattamenti superficiali oltre a quelli che già vengono svolti, ma si andrebbe incontro ad un notevole aumento dei costi.



6-19



6-20

Come si può notare nelle Figure 6-17/6-18, i bracci, in questo caso profili estrusi, sono stati rovinati da un persistente sfregamento contro ad un altro elemento, molto probabilmente il cartone esterno.

La vernice è stata asportata lasciando in vista il materiale strutturale, tutto questo è avvenuto nonostante la presenza del film estensibile di copertura.

Da ciò si evince che è fondamentale la presenza della protezione in polietilene ed una possibile dimenticanza da parte dell'operatore, porta necessariamente ad un danneggiamento.

Sarebbe importante scaricare l'operatore da questa responsabilità, ipotizzando dunque una soluzione meno artigianale anche di questa fase dell'imballo.

## **6.4 LA TAVOLETTA MEDICO**

Viene chiamata anche faretra, porta sopra di sé tutti gli strumenti necessari al medico per gli interventi odontoiatrici, siringa, motori, turbine, ablatore ed alcuni altri opzionali ( Figura 2.2 ).

### **6.4.1 Come viene protetto attualmente**

Tutti quanti i manipoli vengono spediti all'interno della scatola corredo, ad esclusione della siringa.

Bisognerà poi fare distinzione tra le due tipologie di tavoletta esistenti, cioè quella a recupero superiore e quella con i cavi pendenti.



6-21

#### **6.4.2 Quali sono le criticità**

Questo componente è ad oggi quello che richiede più tempo in fase di imballaggio, l'operatore è costretto ad utilizzare notevoli quantità di film estensibile, scotch e pluriball.

Quest'ultimo deve poi aggiungere, nella tipologia Sprido, anche una protezione in polietilene per evitare che le stecche si muovano e quindi si danneggino durante il trasporto.

Un ulteriore aspetto critico è dovuto nuovamente alla staffa verticale di supporto, poichè essendo piuttosto sporca per le lavorazioni che ha subito, non è raro riscontrare macchie indelebili sui cavi dei manipoli o sulle coperture plastiche.

Devo inoltre ricordare che la tavoletta ha un peso che mediamente si aggira sui 15 kg e le molle interne al braccio pantografo sono precaricate attorno ai 3 000 N, risulta quindi un'operazione molto pericolosa la rimozione della staffa in fase di installazione.

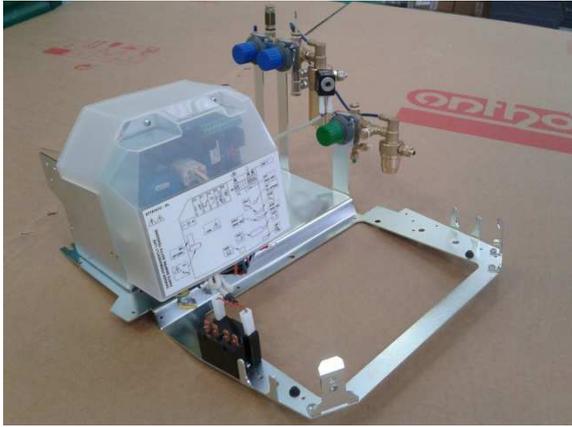
### **6.5 LA CASSETTA DEGLI ALLACCIAMENTI**

E' composta di una serie di valvole e connettori posizionati all'interno di un telaio in lamiera di acciaio. Funge da tramite tra l'alimentazione della rete elettrica, idrica e pneumatica, ed il riunito odontoiatrico.

Ne esistono di diverse forme e dimensioni al variare del modello.

Può alloggiare anche un trasformatore per regolare la tensione di rete.

Viene solitamente installata presso il medico appoggiata a terra nascosta dalla copertura della poltrona.



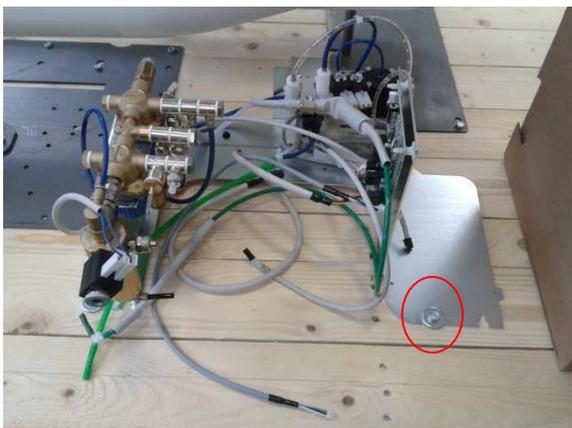
6-22



6-23

### 6.5.1 Come viene protetta oggi

Viene fissata sul bancale con 2 viti autofilettanti, a volte viene utilizzato uno spessore in polistirene.



6-24



6-25

### 6.5.2 Quali sono le criticità

La problematica riguarda le viti autofilettanti che con le vibrazioni, rischiano di allentarsi e nel peggiore dei casi, provocano il distacco della cassetta che va ad impattare i vari componenti verniciati.

Inoltre, se viene posizionata troppo adiacente al bordo del pallet, quando viene posizionato il cartone esterno si rischia di prendere contro alle valvole, a volte rompendole .

In altri casi si è riscontrata una eccessiva flessione della lamiera di sostegno.



6-26



6-27

## 6.6 RIEPILOGO DELLE CRITICITÀ

Posso quindi concludere che ad oggi la fase di imballaggio presenta numerosi aspetti critici, diversi componenti sono facilmente danneggiabili e soprattutto è richiesta elevata esperienza al personale addetto a questa fase.

Tutte le operazioni sono particolarmente artigianali e vengono eccessivamente utilizzati prodotti non idonei allo smaltimento e riciclaggio, aspetto di fondamentale importanza per gli anni futuri.

D'altra parte tutto l'imballo ad oggi è a perdere, con le relative conseguenze in termini economici.

Potrebbe essere utile valutare anche la possibilità di adottare prodotti per l'imballaggio più efficienti e costosi, ma che possano ritornare in azienda ed essere così riutilizzati.



## 7 ANALISI ECONOMICA DELLE CRITICITA'

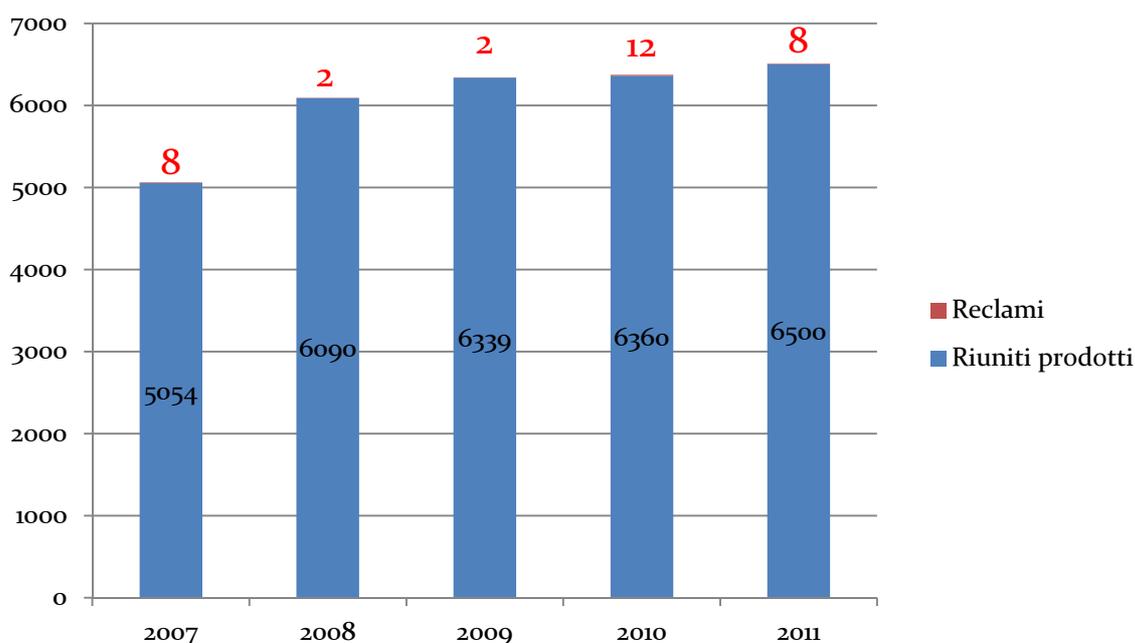
Voglio ora valutare il costo economico che l'azienda deve affrontare mediamente ogni anno per fronteggiare i reclami, per i quali l'attrezzatura arrivata al cliente è in condizioni non ottimali, con danni attribuibili ad un imballaggio non adeguato al trasporto.

Prendo in considerazione soltanto i reclami che riguardano componenti che si trovano all'interno del collo riunito (Figura 3-2), ad esclusione della lampada che si trova all'interno di un collo già progettato per resistere ad urti e vibrazioni da trasporto.

### 7.1 SEPARAZIONE E STIMA DEI COSTI SOSTENUTI

- Qualità Sistema e Prodotto QA (gestione del reclamo)
- Post Vendita (gestione del reclamo)
- Costo dei ricambi
- Back Office (invio dei pezzi sostitutivi)

Per effettuare l'analisi sono partito dal numero di riuniti venduti dal 2007 al 2011, riportando il relativo numero di reclami:



7-1

Posso quindi dire che mediamente i reclami sono: 6.4/anno

Considerando le voci QA e Post Vendita hanno un costo fisso per ogni reclamo gestito, voglio valutare quanto incidano invece le spese dei pezzi di ricambio e delle relative spedizioni.

Ho a disposizione soltanto quelli relativi all'anno 2011, di conseguenza dovrò ricorrere ad una stima per valutare anche gli anni precedenti.

DATA RECLAMO	costo sped. pezzo/i [€]	costo pezzo [€]
24/06/2011	34.27	288.83
30/06/2011	25	80.18
02/08/2011	30	70
16/09/2011	20	96,86
06/10/2011	57.6	9.01
11/10/2011	10	9.94
19/10/2011	10	70.74
08/11/2011	36.47	14.21
	<b>223.34</b>	<b>542.91</b>
TOTALE €		<b>766.25</b>

Tabella 7-2

Faccio quindi una proporzione per adattare le spese appena descritte al numero medio di reclami sopra citato:

$$766.25 : 8 = x : 6.4$$

$$x = 613 \text{ €/anno}$$

Introducendo invece i costi fissi di gestione:

- Qualità sistema e prodotto (QA) : 100 €/reclamo
- Post Vendita : 250 €/reclamo

Affermo che, con i volumi di produzione degli ultimi 5 anni, la spesa annuale per risolvere i reclami è stata:

$$(613) + (100 * 6.4) + (250 * 6.4) = \mathbf{2853 \text{ €}}$$

Posso quindi dire che, se si continuasse ad effettuare l'imballaggio in questo modo, soltanto nei prossimi 5 anni ( 2012 compreso),l'azienda spenderebbe

circa 14 265 € per gestire i reclami, senza poi considerare il notevole danno d'immagine, difficilmente quantificabile.



## 8 ANALISI GLOBALE DELLE PROPOSTE

Questa fase comincia con uno studio dimensionale del pallet attuale, valutando le incidenze sulla capacità di stivaggio di un eventuale pallet ridotto.

Successivamente è stato svolto un incontro multiplo con tre fornitori diversi, specializzati nello studio e nella progettazione di sistemi di imballo, ai quali sono state fornite alcune specifiche per lo sviluppo di idee per alcune nuove soluzioni.

- Riduzione dei costi
- Riduzione dei tempi
- Utilizzo di soluzioni standard
- Utilizzo di materiali eco-compatibili

### 8.1 ANALISI DIMENSIONALE DEL PALLET

Il pallet in uso è un classico pallet a 2 vie in legno d'abete EPAL, trattato secondo normativa vigente:



Figura 8-1

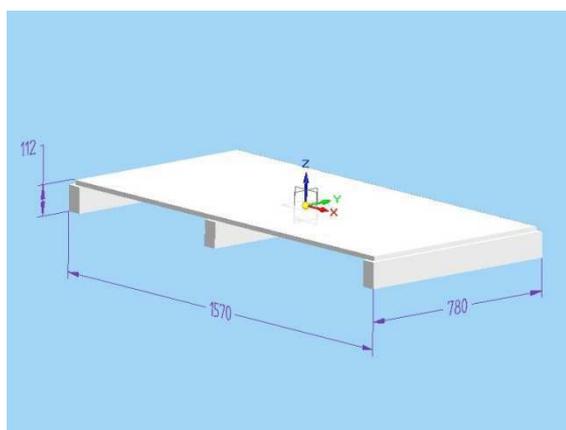


Figura 8-2

Le misure attuali sono : 1580 x 780 x 120 [mm]

### 8.1.1 Riduzione dimensionale del pallet

Dopo un incontro con il Reparto Logistica e Trasporti si è valutata l'ipotesi di ridurre le dimensioni a : 1570 x 740 x 120 [mm]

Queste nuove dimensioni sono state ottimizzate in base ad un'ipotetica disposizione sul container, possibile sempre utilizzando l'attuale bancale.

Nella Fig. 8-3 è rappresentata la disposizione attuale sul pianale del container di poltrone e riuniti, aventi dimensioni non modificate.

Al di sopra di questa disposizione si deve attualmente garantire la presenza dello stesso numero di poltrone e riuniti, che come già accennato vengono sempre spedite abbinate, inoltre non deve mai esserci un riunito sopra una poltrona.

Nella Fig. 8-4 invece, le misure ipotizzate, consentirebbero una disposizione sul pianale dei soli riuniti, mentre al di sopra di essi verrebbero poste tutte le poltrone.



Figura 8-3

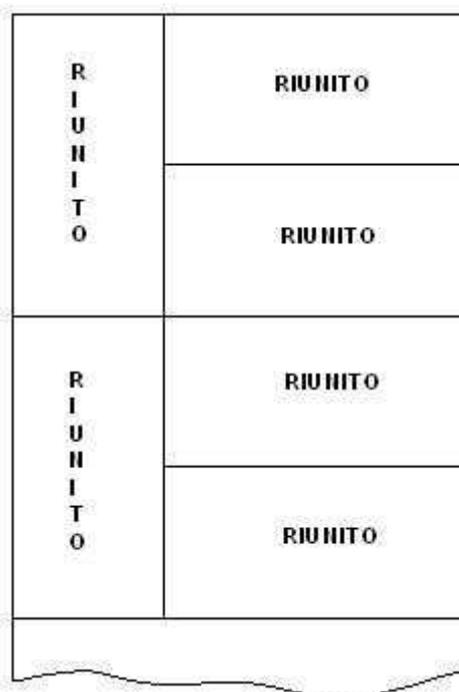


Figura 8-4

Successivamente, con l'ausilio di un software trial Autoload PRO 2008, ho valutato il possibile incremento della capacità di stivaggio all'interno dei container, per una serie di possibili configurazioni e combinazioni di carico ricevute dal reparto specializzato.

Per l'analisi sono stati considerati le tre tipologie di container.  
Per rendere più affidabile lo studio considero le misure ISO minime  
(vedi fig. 3-3):

- 20' BOX = 586 x 231 x 238 [mm]
- 40' BOX = 1201 x 231 x 238 [mm]
- 40' HC (High cube) BOX = 1201 x 231 x 268 [mm]

Separando poi le configurazioni di carico in base all'altezza del collo del riunito  
( vedi fig.3-2).

- Combinazioni con Riuniti Bassi = h 1150 [mm]
- "       con Riuniti Alti   = h 1350 / 1500 [mm]
- "       con Riuniti Misti = h 1150 / 1350 / 1500 [mm]

Oltre ai riuniti viene caricata la poltrona corrispondente, che come già detto  
viaggia necessariamente accoppiata ad esso, mentre gli altri componenti con le  
seguenti misure, soltanto in base alla richiesta del dealer locale:

- *Seggiolini* = 720 x 660 x 620 [mm]
- *Compressori* = 750 x 580 x 860 [mm]
- *Monitor 19''* = 940 x 460 x 310 [mm]
- Vari modelli di radiografici *MYRAY* con misure diverse

### **8.1.2 Autoload Pro 2008 [4]**

AutoLoad Pro è un software di ottimizzazione del carico su camion e container  
di vario tipo.

E' progettato con una tecnologia a 2 stadi di ottimizzazione del carico,il primo  
stadio ottimizza il riempimento del cartone o del pallets, mentre il secondo  
interviene per la fase di carico.

Nella mia esperienza ho utilizzato soltanto il secondo stadio, in quanto l'analisi  
è stata fatta solo sulle dimensioni di ingombro dei pallet.

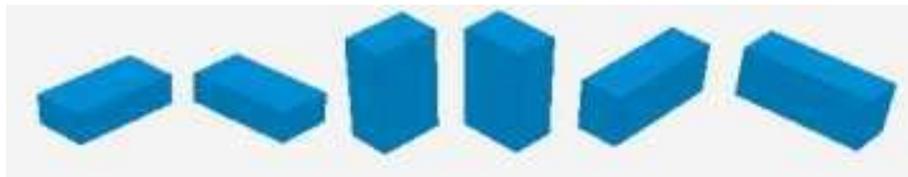
Il motore per la visualizzazione 3D del carico prende in considerazione  
complesse regole per l'orientazione, l'impilaggio, la resistenza e la sicurezza, al  
fine di fornire la sequenza ottimale del carico.

Determina poi quanti camion, tipo e numero di container sono necessari alla generazione del piano di carico ottimale.

Parallelamente, esso migliora la distribuzione del peso e l'utilizzazione del volume, garantendo così risparmi economici.

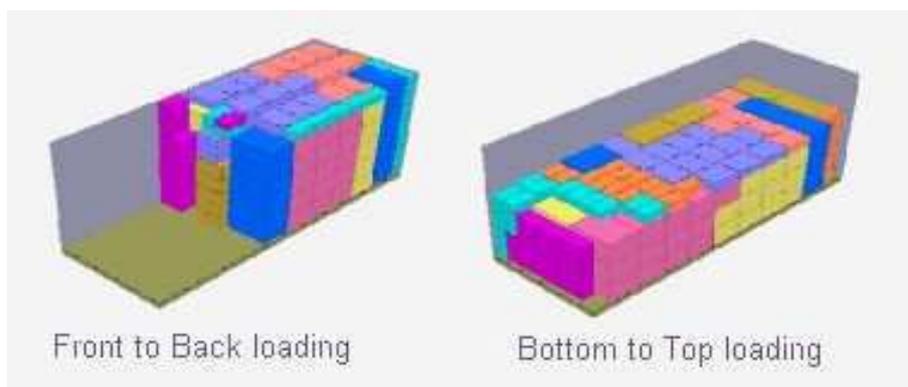
### Over-view dell'algoritmo di calcolo

- Orientazione dei cartoni o pallet:
  - *Fissa*: permessa una sola orientazione
  - *Rotazione orizzontale*: 2 orientazioni permesse
  - *Completa*: tutte e 6 le orientazioni sono permesse



8-5

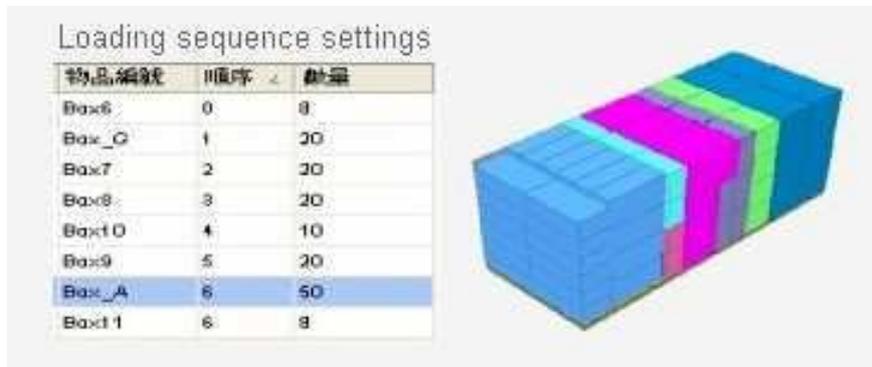
- Direzione del carico:
  - *Front-To-Back*: utilizzata per il carico di camion o container
  - *Bottom-To-Top*: utilizzata per la pallettizzazione



8-6

○ Sequenza del carico:

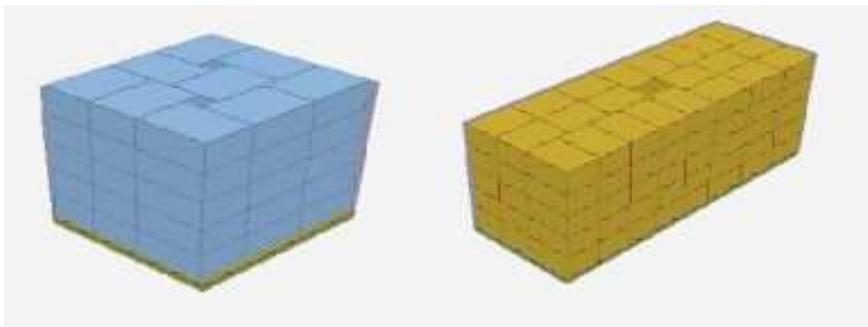
- Possibilità di definire le priorità di carico in base alla successiva sequenza delle fermate di scarico.



8-7

○ Impilaggio multiplo:

- Possibilità di generare l'ottimizzazione dello spazio per carichi dello stesso prodotto, molto frequente nella pallettizzazione.



8-8

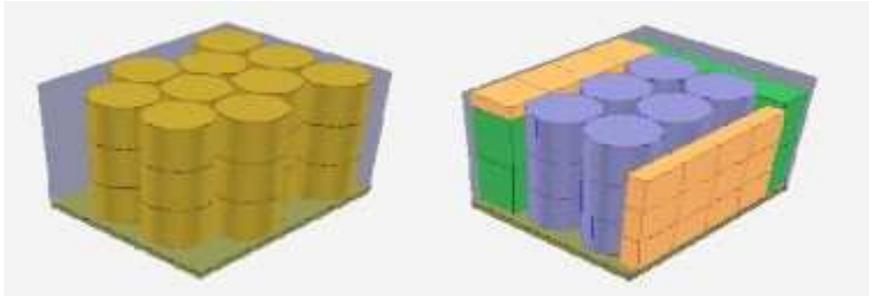
○ Ottimizzazione per container multipli:

- Capacità di fornire l'ordine di riempimento quando devono essere utilizzati numerosi container e differenti tra loro.



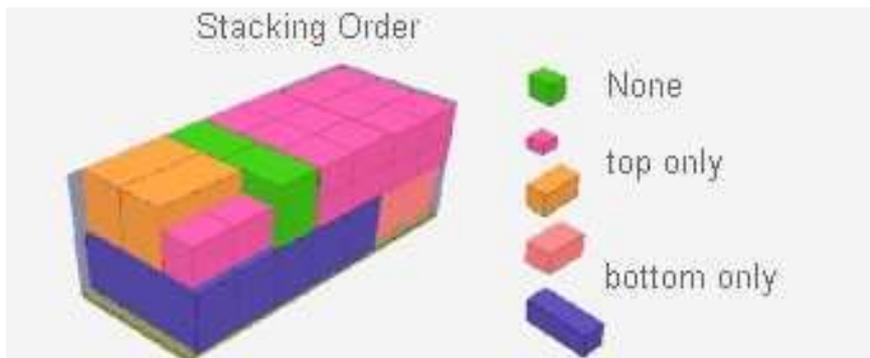
8-9

- Carico di oggetti cilindrici:
  - Possibilità di carico di fusti o altri oggetti non spigolosi
  - Possibilità di ottimizzare carichi misti



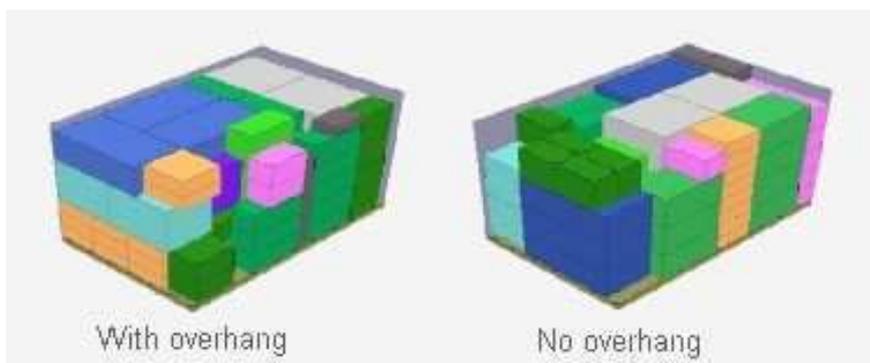
8-10

- Matrice di impilamento per carichi complessi:
  - Definizione di regole singole di impilaggio dei vari componenti
  - Possibilità di definire la posizione dei singoli oggetti per garantirne la sicurezza durante il trasporto.



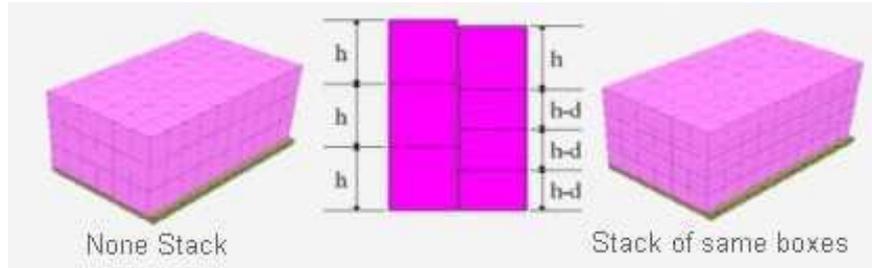
8-11

- Restrizioni sulle sporgenze:
  - Il software permette due opzioni di carico delle scatole una sopra l'altra, la prima permette sporgenze relative e la seconda senza.



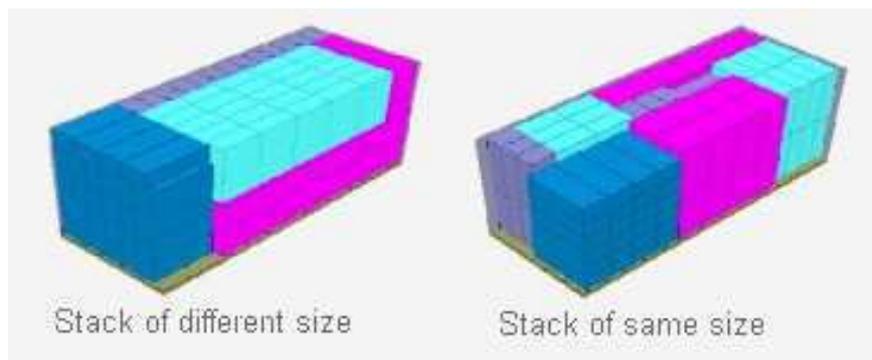
8-12

- Inserimento (non totale) dei pacchi l'uno all'interno dell'altro:
  - E' possibile definire l'altezza di inserimento dei pacchi l'uno nell'altro, utile per calcolare le altezze totali del carico e per valutare possibili cedimenti dei cartoni, dove concesso.



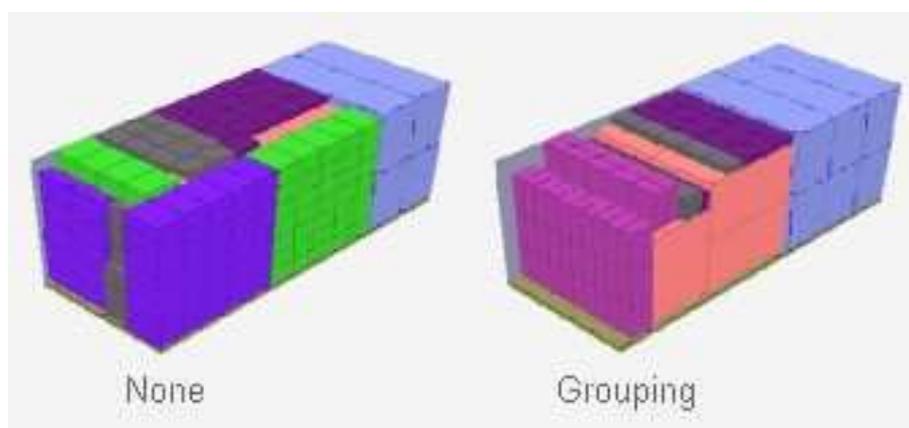
8-13

- Restrizioni nell'impilaggio di oggetti delle stesse dimensioni:
  - Impilaggio di oggetti dalle dimensioni equivalenti l'uno sull'altro.



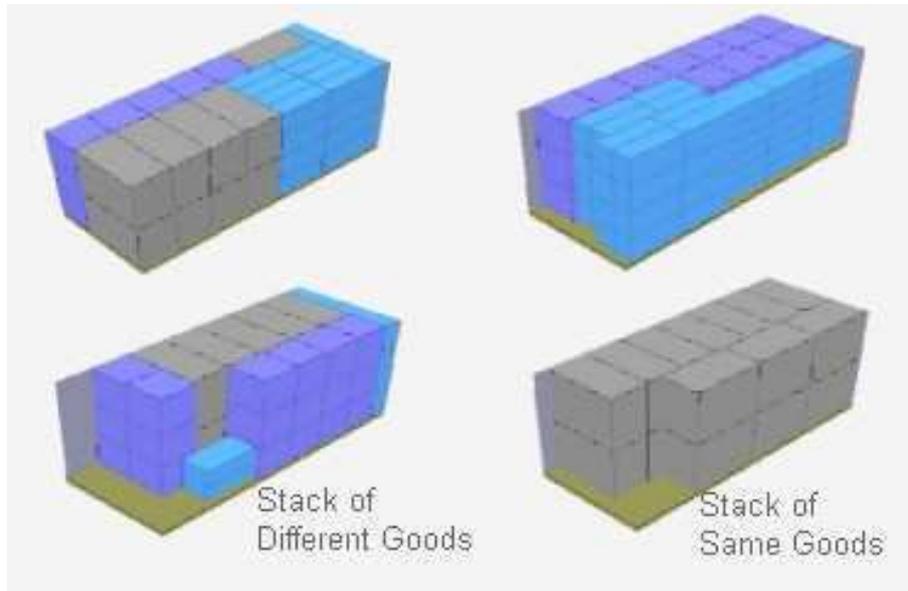
8-14

- Raggruppamento dei prodotti:
  - Gli oggetti che provengono dallo stesso ordine o dallo stesso cliente possono essere raggruppati e caricati nello stesso container.



8-15

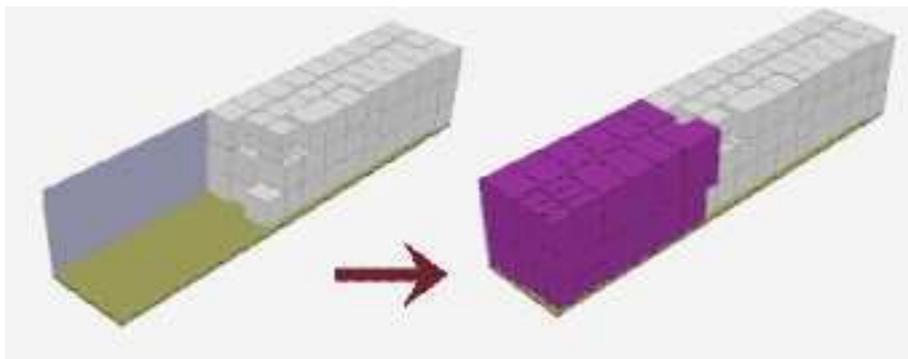
- Gli oggetti uguali possono essere caricati nello stesso container fino alla completa occupazione.



8-16

○ Reload automatico:

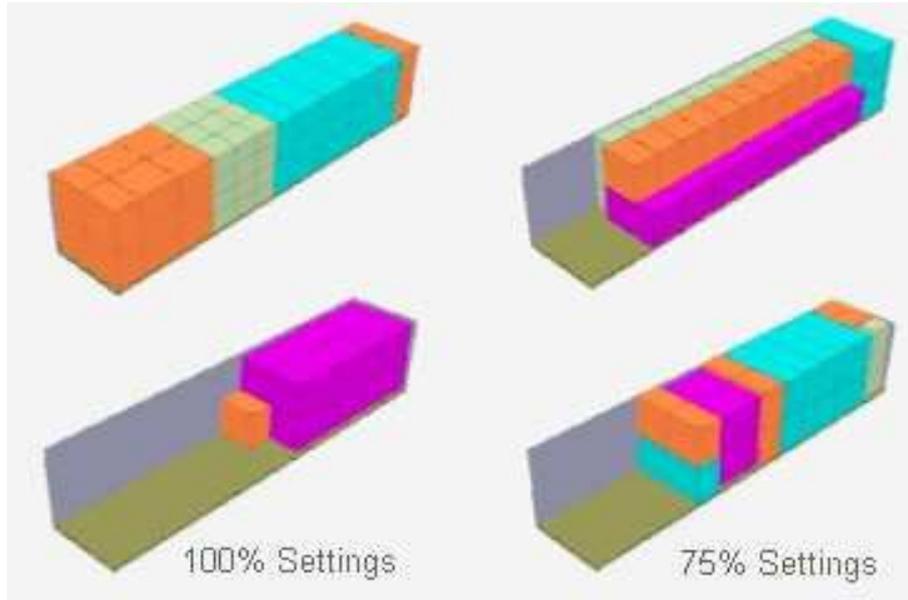
- Con questo software è possibile ottimizzare il carico anche in step successivi, dapprima ottimizzandone soltanto una parte, successivamente inserendo i restanti componenti mantenendo inalterata la disposizione dei primi.



8-17

○ Utilizzazione del volume:

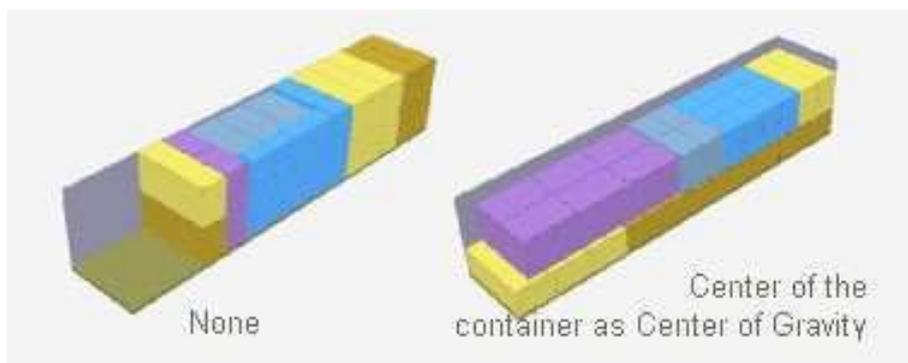
- E' possibile definire il fattore di occupazione massimo del volume del container.



8-18

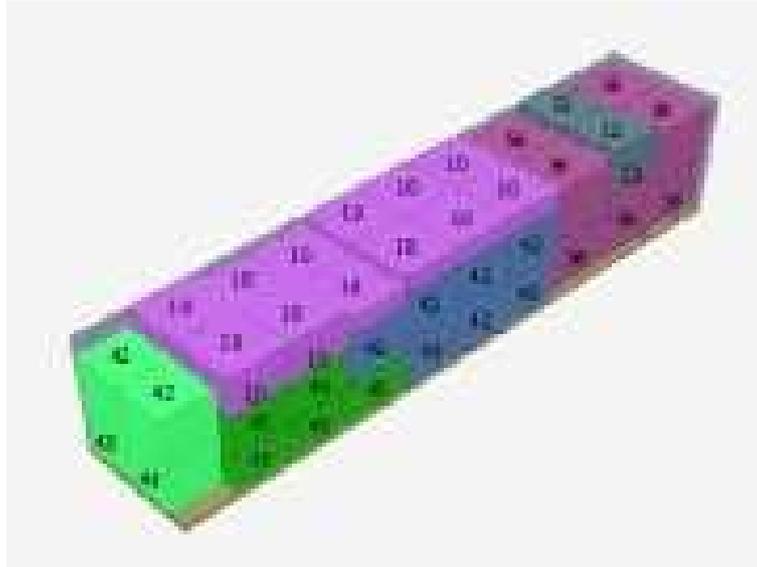
○ Posizione del baricentro:

- Il software permette la definizione della posizione del baricentro del carico. Esso può essere coincidente a quello del container oppure in altre posizioni.



8-19

- Peso massimo supportato dai vari componenti:
  - E' possibile impostare il massimo peso supportato da ogni componente. Nella figura sottostante il peso massimo è impostato su 100kg ed i numeri impressi sono i pesi dei singoli oggetti.



8-20

### 8.1.3 Benefici ottenibili in termini di occupazione del volume

Ho realizzato quindi un foglio Microsoft Excel (vedi appendice ), ottenendo i seguenti risultati in termini di incremento dell'occupazione del volume del container che si potrebbe ottenere mediamente adottando la suddetta riduzione del pallet:

h 1150	container 20'	+ 7.83	%	BASSI
	container 40'	+ 7.75	%	
	container 40' HC	+ 9.28	%	
	<b>MEDIA</b>	<b>+ 8.29</b>	%	
h 1350/1500	container 20'	=	%	ALTI
	container 40'	+ 14.83	%	
	container 40' HC	+ 13.35	%	
	<b>MEDIA</b>	<b>+ 14.09</b>	%	
h miste	container 20'	+ 10.79	%	MISTI
	container 40'	+ 14.31	%	
	container 40' HC	+ 16.14	%	
	<b>MEDIA</b>	<b>+ 13.75</b>	%	
<b>MEDIA GLOBALE</b>		<b>+ 12.04</b>	%	

Tabella 8-1

Il limite di questa analisi risiede nel fatto che questo software non consente di introdurre un vincolo sul lato di presa delle forche del muletto per il sollevamento ( cioè sul numero di vie del bancale ).

Alcune simulazioni svolte potrebbero infatti non essere realizzabili dall'operatore, in quanto impossibilitato dalla tipologia del container esclusivamente utilizzato, avente soltanto l'apertura sul retro.

I bancali in uso hanno infatti la presa per le forche soltanto lungo il lato maggiore (Bancali a 2 vie. Vedi fig.8.1 ).

### SOLUZIONE REALIZZABILE

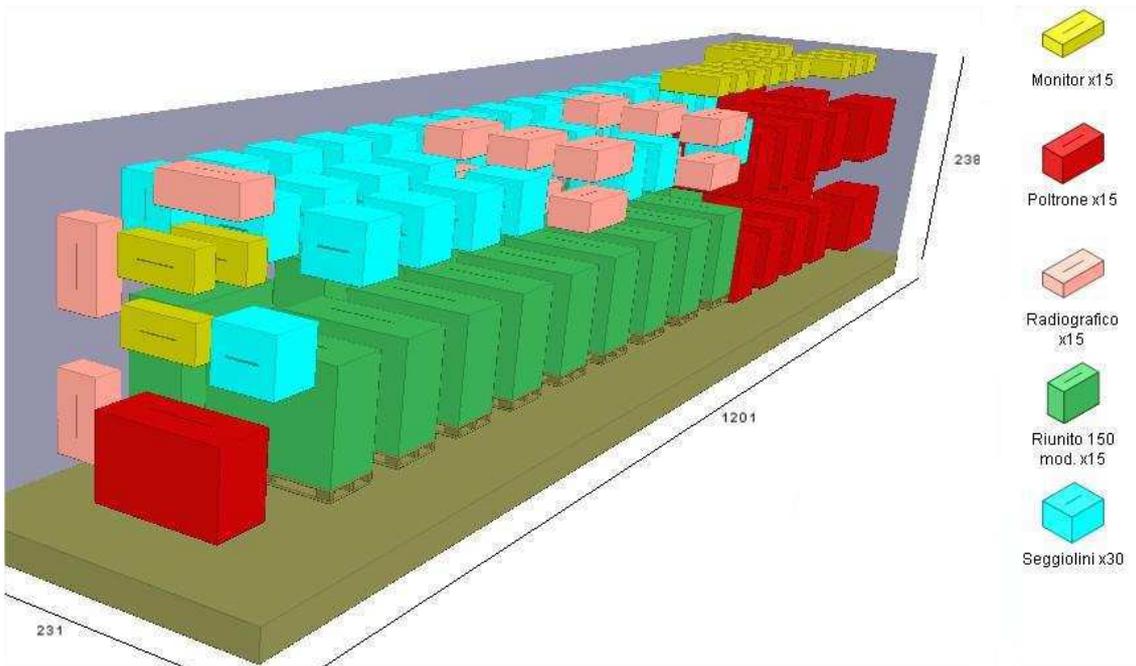


Figura 8-21

### SOLUZIONE NON REALIZZABILE

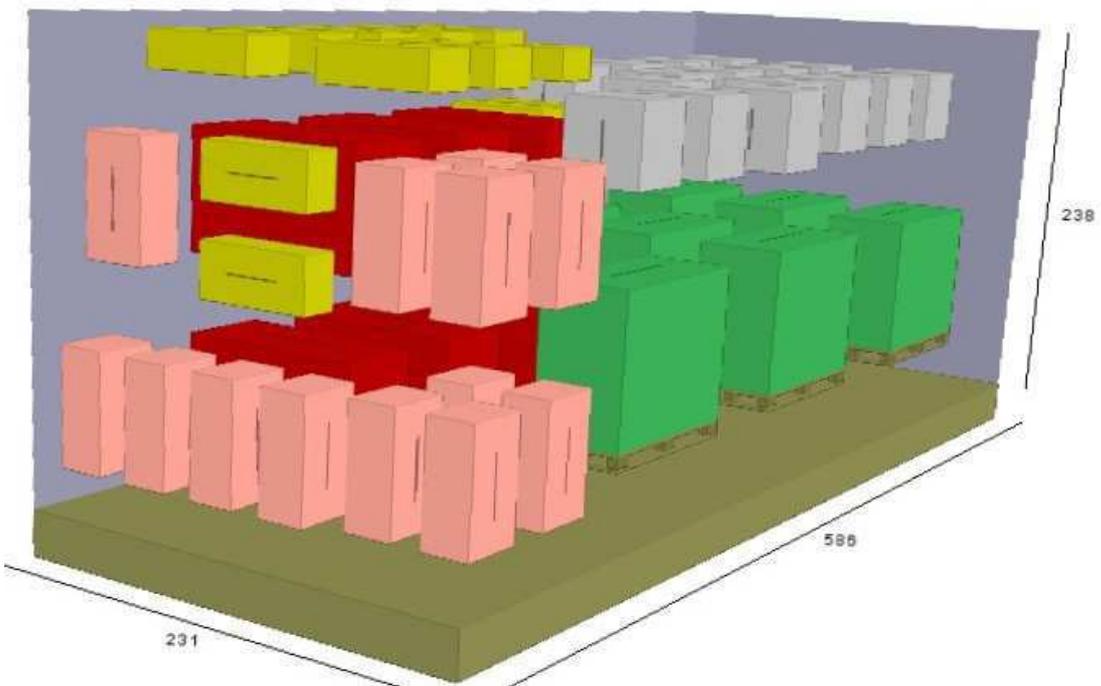


Figura 8-22

Ho deciso quindi di scegliere 3 casi rappresentativi e di verificare manualmente le disposizioni con il software CAD Solid Edge ST3.

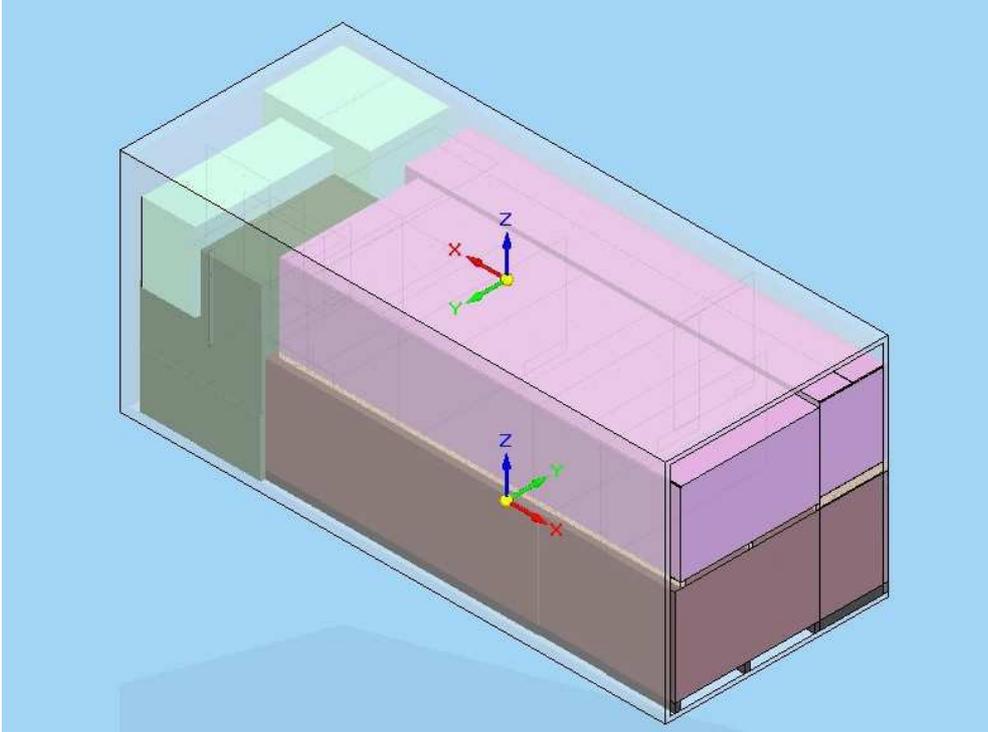


Figura 8-23  
*Container 20' Box*

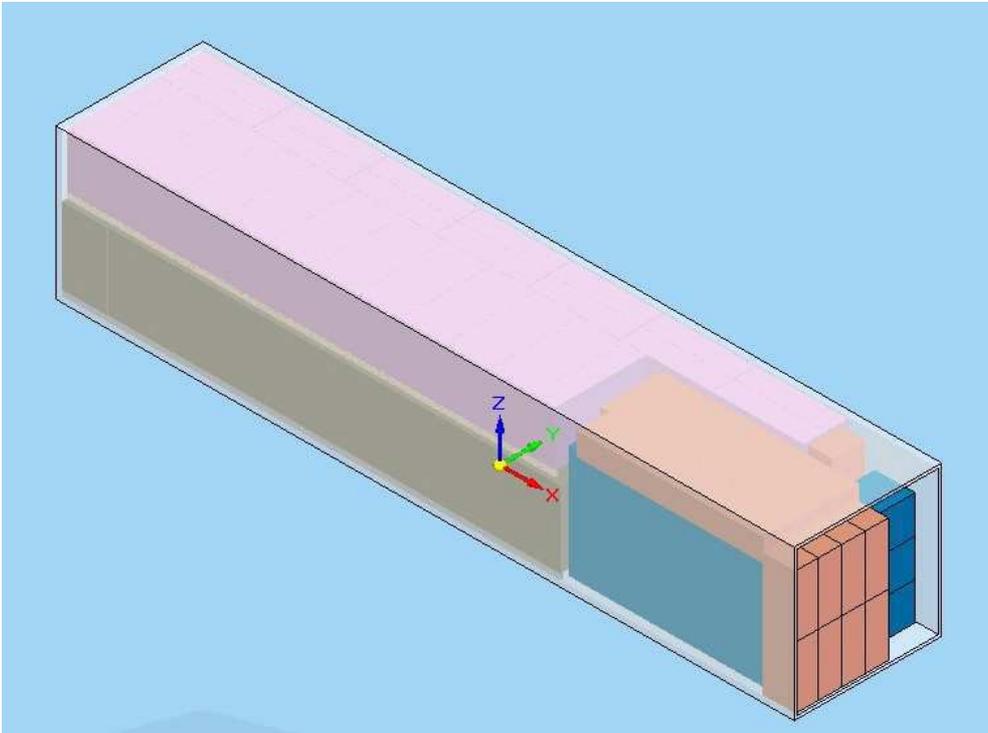


Figura 8-24  
*Container 40' Box*

In tutti e 3 i casi simulati con il CAD ho potuto confermare l'effetto positivo della riduzione dei pallet del riunito, volendo comunque non sovrastimare i benefici risultanti dalle simulazioni con il Software specifico *Autoload PRO 2008*. Ho deciso di correggere il risultato di Tabella 8-1, riducendolo:

12.04 %      →      10 %

#### **8.1.4 Risparmio economico ottenibile**

Riferendomi alla tabella in ALLEGATO A, ho simulato una spedizione via mare con resa CFR con destinazione Porto di Shanghai ( Cina ).

##### ***CONTAINER 20'***

###### IMBALLI BASSI/Combinazione A

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 147 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 114 EURO

Risparmio pari a 33 EURO per riunito, cioè del 22.45 %

###### IMBALLI ALTI / Combinazione A

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 172 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 147 EURO

Risparmio pari a 25 EURO per riunito, cioè del 14.53 %

###### IMBALLI MISTI / Combinazione A2

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 129 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 114 EURO

Risparmio pari a 15 EURO per riunito, cioè del 11.63 %

Valuto quindi l'incidenza annuale:

$$\text{Costo medio attuale} = 1\,232 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Risparmio medio} = 22.45 + 14.53 + 11.63 = 16.2 \%$$

$$\text{Costo proposta} = 1\,032 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Risparmio Unitario} = 1\,232 - 1\,032 = 200 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Spedizioni Anno} = 30$$

$$\text{Risparmio Totale} = 200 * 30 = 6\,000 \text{ €/anno}$$

### **CONTAINER 40'**

#### IMBALLI BASSI/Combinazione A

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 76 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 63 EURO

Risparmio pari a 13 EURO per riunito, cioè del 17.11 %

#### IMBALLI ALTI/Combinazione B

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 82 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 63 EURO

Risparmio pari a 19 EURO per riunito, cioè del 23.17 %

#### IMBALLI MISTI / Combinazione A2

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 67 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 63 EURO

Risparmio pari a 4 EURO per riunito, cioè del 5.97 %

Valuto quindi l'incidenza annuale:

$$\text{Costo medio attuale} = 1\,360 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Risparmio medio} = 17.11 + 23.17 + 5.97 = 15.41 \%$$

$$\text{Costo proposta} = 1\,150 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Risparmio Unitario} = 1\,360 - 1\,150 = 210 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Spedizioni Anno} = 30$$

$$\text{Risparmio Totale} = 210 * 30 = \mathbf{6\,300} \text{ €/anno}$$

### **CONTAINER 40' HC High Cube**

#### IMBALLI BASSI/Combinazione A

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 58 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 55 EURO

Risparmio pari a 3 EURO per riunito, cioè del 5.17 %

#### IMBALLI ALTI/Combinazione A2

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 78 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 65 EURO

Risparmio pari a 13 EURO per riunito, cioè del 16.67 %

#### IMBALLI MISTI/Combinazione A1

Situazione attuale

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 68 EURO

Situazione proposta

⇒ Incidenza costo di trasporto per riunito = 58 EURO

Risparmio pari a 10 EURO per riunito, cioè del 14.71 %

Valuto quindi l'incidenza annuale:

$$\text{Costo medio attuale} = 1\,380 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Risparmio medio} = 5.17 + 16.67 + 14.71 = 12.18 \%$$

$$\text{Costo proposta} = 1\,170 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Risparmio Unitario} = 1\,380 - 1\,170 = 210 \text{ €/spedizione}$$

$$\text{Spedizioni Anno} = 10$$

$$\text{Risparmio Totale} = 210 * 10 = 2\,100 \text{ €/anno}$$

Posso quindi stimare il risparmio annuo dell'azienda:

$$\text{Risparmio Annuo Complessivo} = 6\,000 + 6\,300 + 2\,100 = 14\,400 \text{ €/anno}$$

### 8.1.5 Come alloggiare il riunito sul Pallet ridotto

A questo punto ho effettuato un'analisi sui numerosi modelli, comprendendo anche alcune ipotetiche varianti richiedibili dai clienti come optional.

Da essa è emerso che, per riuscire a ridurre di 40 mm la larghezza del pallet, si può agire fondamentalmente sulla scatola del corredo e sulla posizione della cassetta degli allacciamenti, in quanto sia gli ingombri del riunito che della scatola della lampada non sono modificabili.

All'interno della scatola corredo vengono posti generalmente i manuali d'uso, le garanzie ed alcuni componenti come il pedale di comando del riunito, la tavoletta tray, il palo della lampada e componenti utili al montaggio.

La scatola del corredo viene posizionata sul pallet generalmente in due possibili posizioni a seconda del modello di riunito:



Figura 8-25



Figura 8-26

In entrambi i casi si nota come una riduzione della larghezza di 40 mm, che potrebbe essere compensata da un aumento dell'altezza, può effettivamente permettere di disporre dello spazio necessario alla riduzione del bancale.

### 8.1.6 Riduzione della scatola del corredo

Ho effettuato un'analisi del volume a disposizione all'interno di essa, ed ho ipotizzato tre eventuali versioni alternative:

	LUNGHEZZA	ALTEZZA	LARGHEZZA	VOLUME mm <sup>3</sup>	+ ΔV %	+ Δ h [mm]
<b>ATTUALE</b>	570	495	297	8.38E+07		
<b>MOD1</b>	570	595	257	8.72E+07	4.01	+100
<b>MOD2</b>	570	645	257	9.45E+07	8.40	+150
<b>MOD3</b>	570	695	257	1.02E+08	21.72	+200

Tabella 8-2

Ho inviato quindi le specifiche al fornitore che ha così prodotto i tre campioni. A questo punto, con l'ausilio dell'addetto all'imballaggio, ho testato questi campioni in numerosi modelli. Da questa analisi è risultato che la versione MOD2 cioè quella con altezza maggiorata di 150 mm era la più idonea, ho notato inoltre che in alcuni casi una riduzione ulteriore della lunghezza di 10 mm potrebbe essere utile a ridurre possibili zone di contatto.

Prendo ora come riferimento un modello di punta, il Castellini SKEMA 6, mostro come la modifica porti il beneficio desiderato.



Figura 8-27



Figura 8-28

Nella Fig. 8-25 ho la situazione con la scatola non modificata, con la quale non sarebbe possibile la riduzione del pallet.

Nella Fig. 8.28 ho posto la scatola con larghezza modificata, è facile notare come venga facilmente ricavato lo spazio necessario, sia i 40mm in larghezza che i 10mm in lunghezza.

### 8.1.7 Test di riempimento della scatola modificata

Ho quindi eseguito un test di riempimento della scatola corredo MOD2, inserendovi all'interno tutti gli elementi eventualmente richiedibili come optional, riferendomi quindi alla situazione più critica possibile, ma sicuramente improbabile.



8-29

### 8.1.8 Posizione della cassetta degli allacciamenti

Ho potuto poi valutare il posizionamento della cassetta degli allacciamenti, che in tutti i modelli analizzati non presenta vincoli ed è sempre possibile spostarla di qualche cm, per consentire la riduzione del pallet.



Figura 8-30

## 8.2 INTRODUZIONE DI INDICATORI D'URTO [8]

Ho poi valutato la possibilità di introdurre sul collo di spedizione del riunito, un indicatore d'urto adesivo, della SHOCKWATCH.

### 8.2.1 Come funziona

L'indicatore d'urto ShockWatch registra e segnala le sollecitazioni potenzialmente dannose subite da un collo di spedizione.

Il dispositivo è composto da un liquido in sospensione che viene rilasciato all'interno di un segnalatore nel momento in cui l'imballaggio al quale è applicato subisce un impatto di superamento del livello G prestabilito tale da compromettere l'integrità del contenuto.

La presenza di un indicatore d'urto ShockWatch sull'imballaggio consente di determinare a posteriori la gestione del collo, per semplificare le eventuali operazioni di risarcimento ( ogni indicatore ha un suo numero di serie che viene riportato anche sui documenti di trasporto ) ma soprattutto, grazie all'evidente visibilità, permette di ottenere una importante funzione deterrente nei confronti di chiunque si troverà di fronte il segnalatore.

Le dimensioni contenute che ne permettono l'applicazione ovunque, il sistema di fissaggio che ne impedisce la manomissione ed i costi contenuti rendono l'indicatore d'urto ShockWatch uno strumento innovativo nel campo dell'imballaggio di sicurezza.

## 8.2.2 Gamma dei prodotti

La SHOCKWATCH popone diverse soluzioni basate su questo dispositivo:

### EICHETTE ADESIVE:

Disponibili in 5 diversi colori, ognuno corrispondente ad una determinata soglia di accelerazione, il cui superamento genera la rottura della bolla all'interno del liquido che diventa così di colore rosso. Applicato su un adesivo dalle grandi dimensioni ( circa 30 x 20 cm ), così da garantirne la perfetta visibilità.



8-31

### CLIP:

Anch'esse adesive ma di dimensioni più contenute, economiche e di facile applicazione. Le DOUBLE CLIP prevedono due diverse soglie di attivazione, anch'esse disponibili su una vasta gamma di livelli di accelerazione.

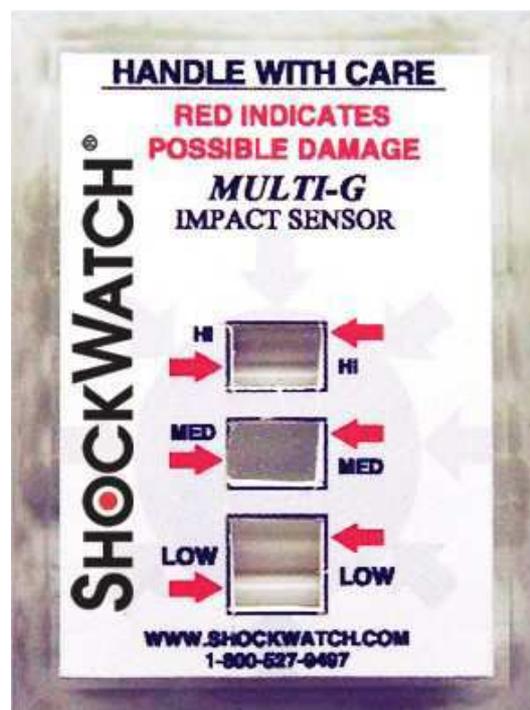


8-32

**MULTI-G:**

E' una particolare tipologia di clip, che dispone di 3 livelli di attivazione.

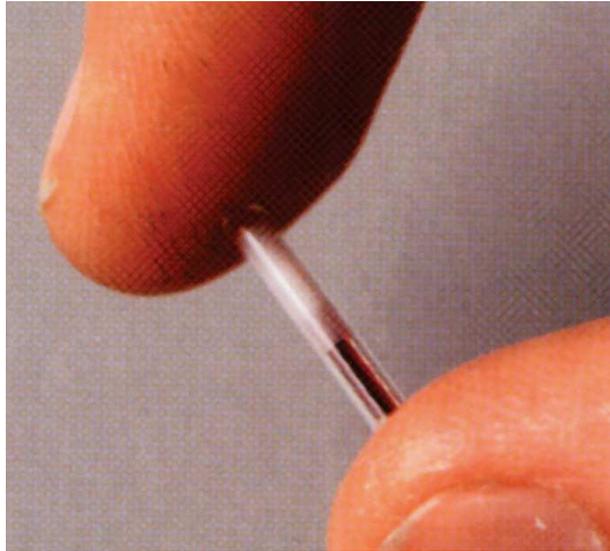
Molto utilizzato per determinare la sensibilità in G di un prodotto durante i test di caduta.



8-33

**TUBE:**

Sono i più piccoli della gamma, vengono introdotti direttamente all'interno del prodotto.



8-34

**MAG – 2000:**

Prodotto di alta gamma, riutilizzabile e che non permette manomissioni.

Utilizzabile per prodotti con peso di almeno 136 Kg, è in grado di registrare anche la direzione angolare di applicazione dell'urto. Il MAG – 2000 utilizza due sensori magnetici ad alta sensibilità che vengono attivati quando l'urto è tale da distruggere la loro forza di attrazione, questo provoca l'allontanamento del magnete superiore verso una nuova posizione periferica, il cui angolo indica chiaramente la direzione dell'impatto subito.

**WARNING**      **MONITORED SHIPMENT**

**IF RED INDICATOR IS VISIBLE AN IMPACT HAS OCCURRED**

- 1 Do not refuse shipment.
- 2 Make notation on delivery receipt and inspect for damage.
- 3 If damage is discovered, leave item in original container and packaging, and request immediate inspection from carrier

Part#: M21-CL      **SHOCKWATCH**<sup>®</sup>      1 300 074 625      www.shockwatch.com.au  
DAMAGE PREVENTION. WE'RE ON IT.

8-35

**MAG – 2000 Impact Date/Timer:**

Stesso funzionamento del MAG – 2000, permette inoltre di registrare la data e l'ora dell'impatto.

**WARNING** **MONITORED SHIPMENT**

**IF THE TIMER HAS STOPPED AND THE **SHOCK TIME** INDICATOR IS **BLINKING**, AN IMPACT HAS OCCURRED**

- 1 Do not refuse shipment.
- 2 Make notation on delivery receipt and inspect for damage.
- 3 If damage is discovered, leave item in original container and packaging, and request immediate inspection from carrier within 15 days of delivery date (int'l 3 days).



The image shows a circular red and black Shockwatch MAG 2000 Impact Date/Timer device. The device has a digital display showing '4-24' (MONTH-DAY) and '13:00:35' (SHOCK TIME). The text 'SHOCKWATCH MAG 2000' is printed at the top, and 'IMPACT DATE/TIMER' and 'www.shockwatch.com' are printed at the bottom. A line points from the text 'SHOCK TIME' in the warning to the 'SHOCK TIME' indicator on the device.

**SHOCKWATCH**® † 800.527.9497 · www.shockwatch.com

8-36

### 8.2.3 Scelta del prodotto più idoneo

Ho valutato quindi l'introduzione delle etichette adesive sopra descritte, in quanto ritenute più idonee all'applicazione in questione.

Le varie colorazioni corrispondono alle seguenti soglie di accelerazione (valutate in un tempo pari a 50 ms):

- Giallo : 25 G
- Viola : 37 G
- Rosso : 50 G
- Arancione : 75 G
- Verde : 100G

Per la scelta di quello da utilizzare devo conoscere:

- Peso del collo (max) = 180 Kg
- Volume (max) =  $1.57 * 0.74 * 1.5 = 1.74 m^3$

Shipment Size Weight (kg)	.001 - .030 CUBIC METER	.031 - .135 CUBIC METER	.136 - .400 CUBIC METER	.401 - 1.350 CUBIC METER	1.351+ CUBIC METER
0-4.5	GREEN	GREEN	ORANGE	ORANGE	RED
4.6-11.25	GREEN	ORANGE	ORANGE	RED	RED
11.7 - 22.5	ORANGE	ORANGE	RED	RED	PURPLE
23 - 45	ORANGE	RED	RED	PURPLE	PURPLE
45.5 - 112.5	RED	RED	PURPLE	PURPLE	YELLOW
113 - 450*	RED	RED	PURPLE	YELLOW	YELLOW
451 +*	—	PURPLE	YELLOW	YELLOW	YELLOW

8-37

Vengono fornite inoltre indicazioni sull'altezza minima di caduta che genera l'attivazione del dispositivo:

Weight	Yellow L65	Purple L55	Red L47	Orange L35	Green L30
Under 45 Kilograms	-	0.30 - 0.48 M	0.30 - 0.60 M	0.60 - 0.91 M	0.91 M +
Over 45 Kilograms	0.15 - 0.30 M	0.20 - 0.40 M	0.30 - 0.48 M	-	-

8-38

Le caratteristiche tecniche sono le seguenti:

Operating Temperature	-13°F/-25°C to +176°F/+80°C
Size	(Label) 9.65 cm x 9.65 cm (Clip) 4.0 cm (L) x 2.8 cm (H) x 0.25 cm (D) (Mini-clip) 3.5 cm (L) x 1.2 cm (H) x 0.25 cm (D)
Sensitivity	Available from 10 to 150G and sensitive to impacts on 360° axis
Guaranteed Activation	+/-15% of nominal value
Responsiveness	Responds to single impact
Duration	Ranges 1 to 50 ms
Adhesive	Acrylic
Shelf Life	2 years from date of sale

8-39

### 8.2.4 Studio di fattibilità

Ho valutato quindi i costi per l'introduzione del prodotto in questione:

$$\text{Costo unitario} = 1.30 \text{ €}$$

$$\text{Produzione annuale di riuniti} = 6\,500 \text{ €}$$

$$\text{Costo annuale} = 1.30 * 6500 = 8\,450 \text{ €}$$

### 8.3 BLOCCAGGIO DEL CARRELLO NELLA POSTAZIONE DI IMBALLO

Ho notato che la postazione di imballo è l'unica della linea a non avere gli agganci per il carrello, durante tutta la linea di montaggio il bancale è fissato alla maglia della catena tramite due perni solidali al carrello.



8-40

Arrivato a fine linea, viene trasferito nella postazione di collaudo, i perni vengono introdotti all'interno di due fori praticati nel pavimento, in questa postazione il riunito non viene sollecitato in alcuna maniera, in quanto viene soltanto allacciato alle utenze.

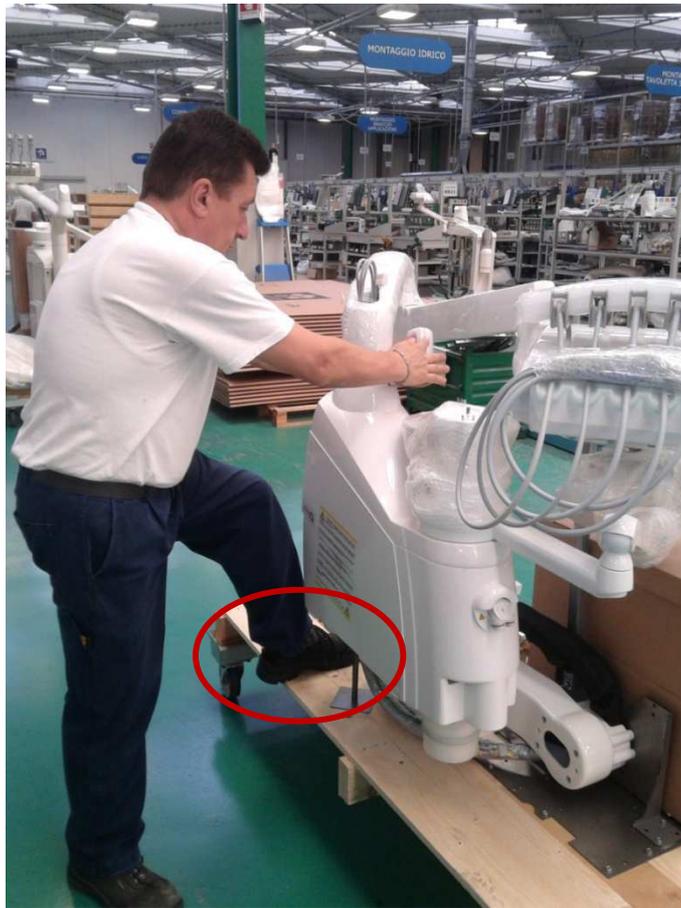


8-41

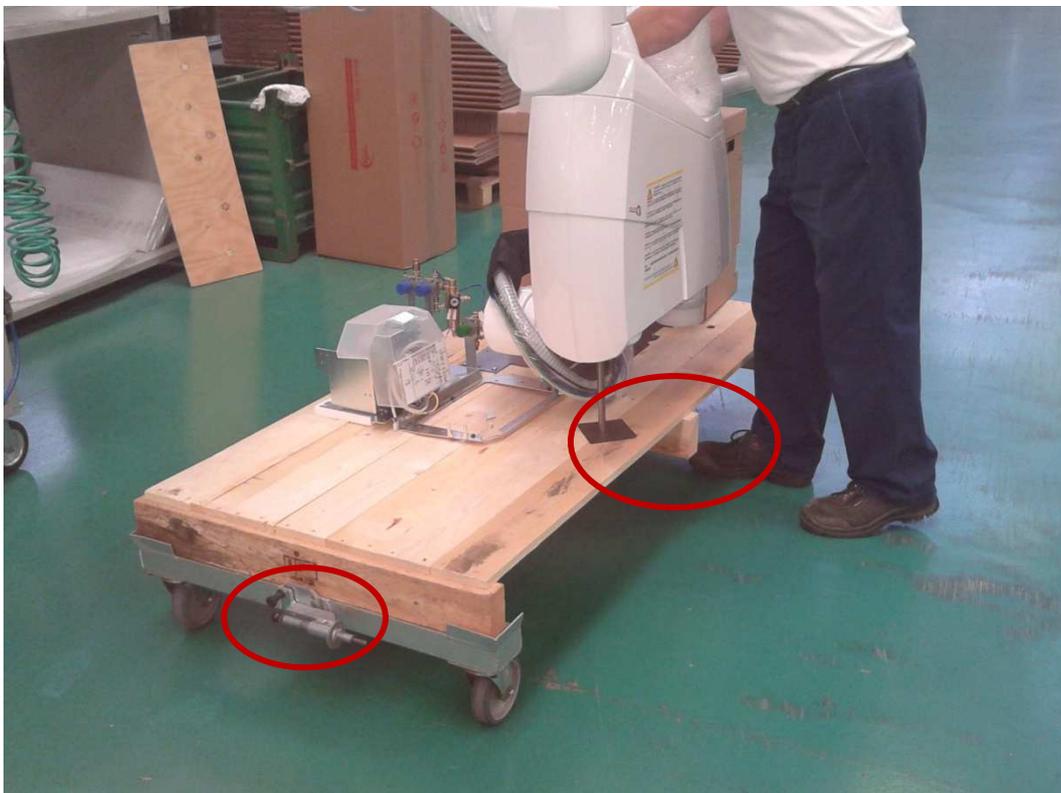


8-42

Infine giunge nella postazione di imballo, dove l'operatore si trova a dover operare senza un solido posizionamento del carrello.



8-43



8-44

Come si può notare dalla Fig. 8-43, l'operatore quando utilizza il film estensibile oppure altri materiali da mettere in trazione per le applicazioni, è costretto ad aiutarsi con il piede oppure con il braccio opposto.

Questo è un aspetto di rilevante importanza, in quanto condiziona altamente la qualità del lavoro.

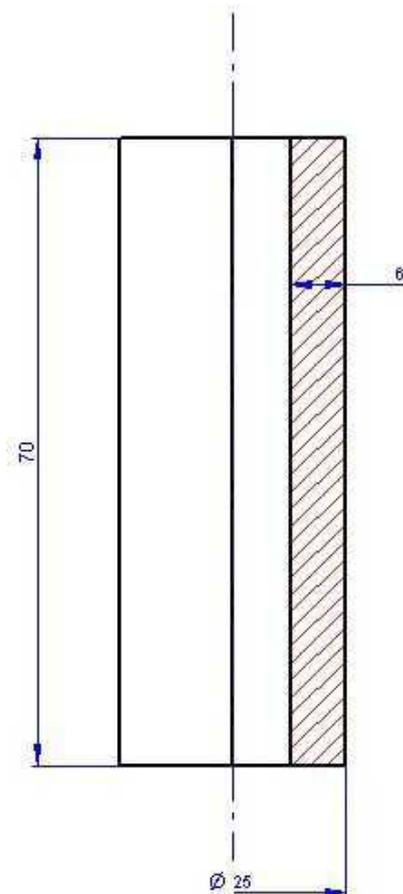
### 8.3.1 Studio di fattibilità

Propongo quindi di effettuare nella postazione di imballo quattro fori nel pavimento come in quella di collaudo, Fig. 8.42, in modo da poter imballare contemporaneamente 2 riuniti nelle situazioni di saturazione della linea.

$$\text{Costo operazione} = 0 \text{ €}$$

## 8.4 INSERIMENTO DEL CAPPuccio AL PERNO PORTA TRAY

In riferimento alle criticità della bacinella, descritte a pag. 93-94, ho ipotizzato l'introduzione di un tratto di tubo in Polietilene LDPE utilizzato come isolante nell'edilizia.



8-45

Dovrà essere innanzi tutto tagliato a mano da un operatore nella stazione di Taglio Tubi, poi verrà applicato a mano ad interferenza in tutti i modelli in cui il perno si trova troppo vicino alla bacinella, in quanto quasi certamente è proprio questa distanza troppo esigua a determinare i danneggiamenti alla bacinella.



8-46

8-47

#### 8.4.1 Studio di fattibilità

Ipotizzando quindi di introdurre in ogni linea questo cappuccio, i costi saranno i seguenti:

$$\text{Lunghezza dell'elemento} = 0.07 \text{ m}$$

$$\text{Lunghezza della bobina di fornitura} = 200 \text{ m}$$

$$\text{Costo della bobina} = 150 \text{ €}$$

$$\text{Numero di elementi per bobina} = \frac{200}{0.07} = 2\,860 \text{ pezzi}$$

$$\text{Costo unitario} = \frac{150}{2\,860} = 0.05 \text{ €}$$

$$\text{Tempo necessario al taglio dell'intera bobina} = 60 \text{ min}$$

$$\text{Costo dell'operatore} = 18 \frac{\text{€}}{\text{ora}}$$

*Costo operatore per tagliare la bobina = 25 €*

$$\text{Costo manodopera} = \frac{18}{2860} = 0.006 \frac{\text{€}}{\text{pezzo}}$$

$$\text{Costo Totale} = 0.05 + 0.006 = 0.056 \frac{\text{€}}{\text{pz}}$$

$$\text{Pezzi necessari} = 2\,500 \frac{\text{pz}}{\text{anno}}$$

$$\text{Costo Annuale} = 2\,500 * 0.056 = 140 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$



## 9 STUDIO DI FATTIBILITA' PER L'UTILIZZO DI MATERIALE ALTERNATIVO

In collaborazione con l'azienda Grifal SPA ho ipotizzato l'introduzione all'interno del processo di imballaggio di un materiale da loro brevettato, il MONDAPLEN.



9-1

### 9.1 CARATTERISTICHE TECNICHE [5]

Esso è prodotto in polietilene espanso a bassa densità (LDPE) avente le seguenti caratteristiche:

PROPRIETA'	METODO DI TEST	UDM	VALORE
Densità	DIN 53571	Kg/m <sup>3</sup>	22
Resistenza a trazione	DIN 53572	N/mm <sup>2</sup> =Mpa	
Longitudinale			0.219
Trasversale			0.17
Allungamento a rottura	DIN 53572	%	
Longitudinale			67
Trasversale			52
Resistenza a compressione	DIN 53572	N/mm <sup>2</sup> =Mpa	
25% (4° compressione)			0.024
50% (4° compressione)			0.081
75% (4° compressione)			0.2
Resistenza termica ( 24H a 70°C)	ASTM D-3575.S	%	< 0.5
Assorbimento acqua (Dopo 24H)	DIN 53428	Vol. %	1.19
Temperatura di lavoro		°C	(-30;+80)

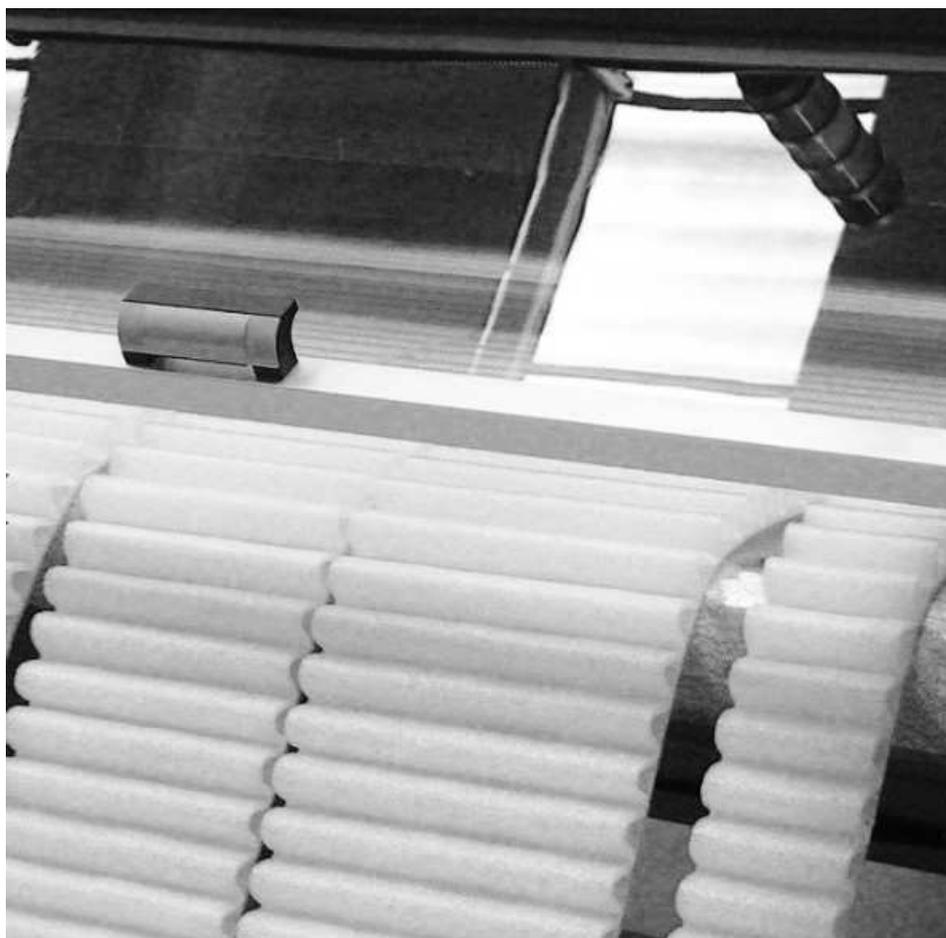
9-2

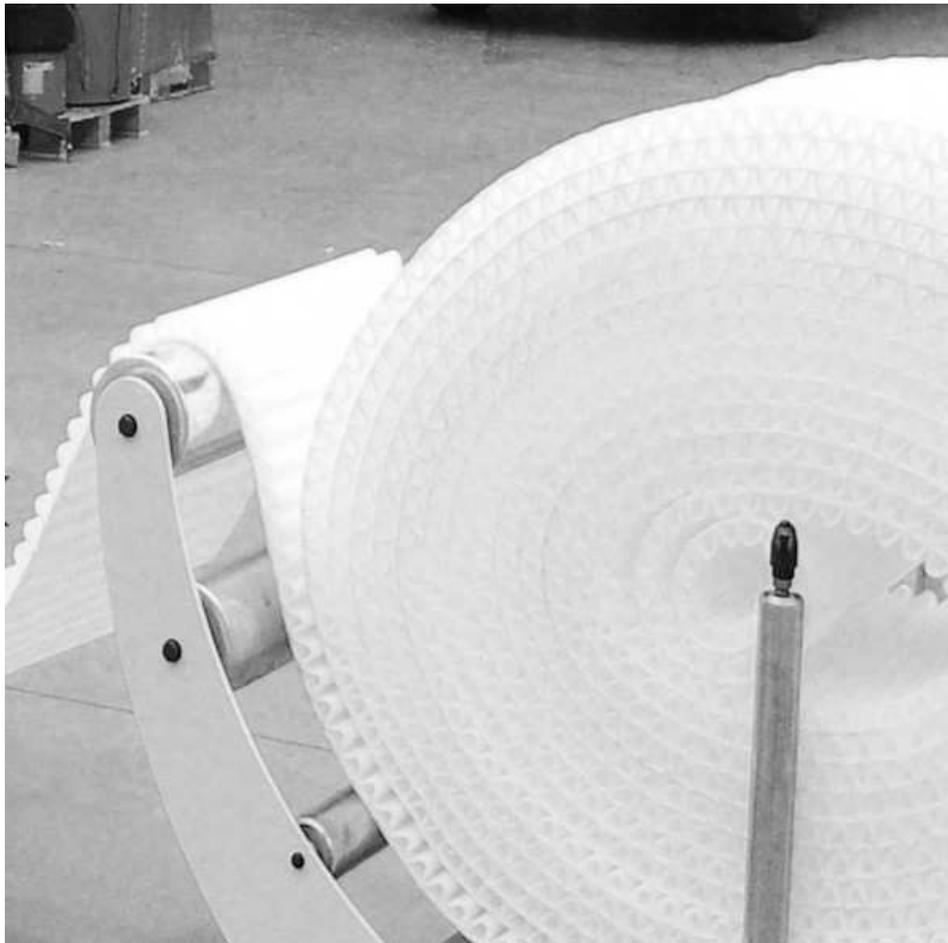
Inoltre è all' avanguardia nei confronti del rispetto dell'ambiente:

- è prodotto in assenza di CFC e HCFC
- in discarica è BIOSTABILE, quindi non può in alcun modo inquinare la falda
- bruciato in inceneritori adeguati, Mondaplen® consente un notevole recupero termico e non produce sostanze inquinanti. In particolare, non contenendo atomi di Cloro, non può produrre alcun tipo di diossine
- non contiene alogeni, zolfo o silicone
- non contiene cadmio, piombo o altri metalli pesanti nocivi

## 9.2 MONDAPLEN TECH TC1200 [6]

L'azienda GRIFAL ha brevettato inoltre la macchina per la produzione in continuo di questo materiale, la quale possiede inoltre la capacità di effettuare tagli o pretagli in entrambe le direzioni.





9-4

### 9.2.1 Caratteristiche tecniche

Larghezza massima lavorabile.....	1600 mm
Spessore massimo lavorabile.....	65 mm
Numero di lame I° linea.....	6
Numero di lame II° linea.....	6
Massima velocità senza taglio.....	30 m/min
Massima velocità con taglio.....	aggiungere 1.15 s/m

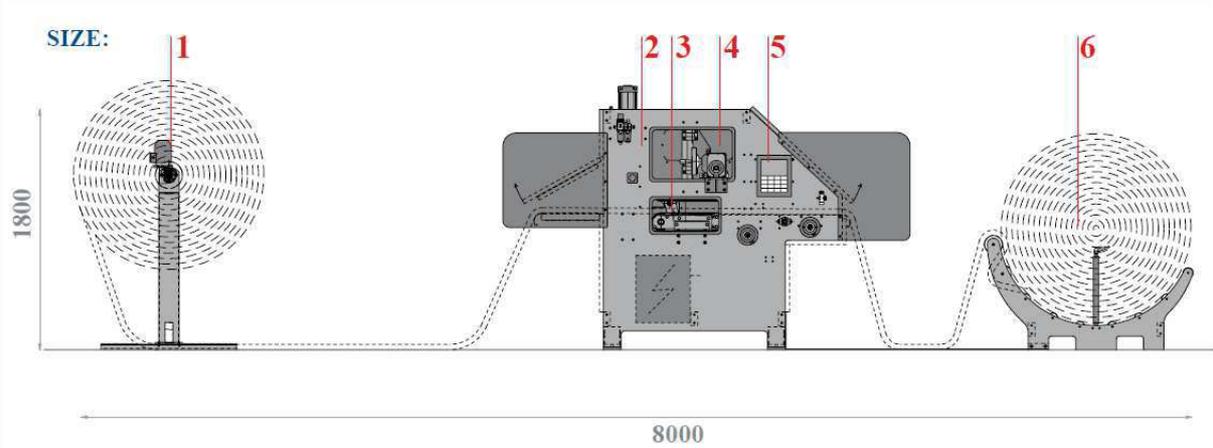
### 9.2.2 Caratteristiche generali

Voltaggio.....	380 V
Assorbimento di corrente.....	5 A
Pressione di alimentazione dell'aria.....	6 bar
Potenza installata.....	3 Kw
Livello della pressione acustica.....	< 73 dBa

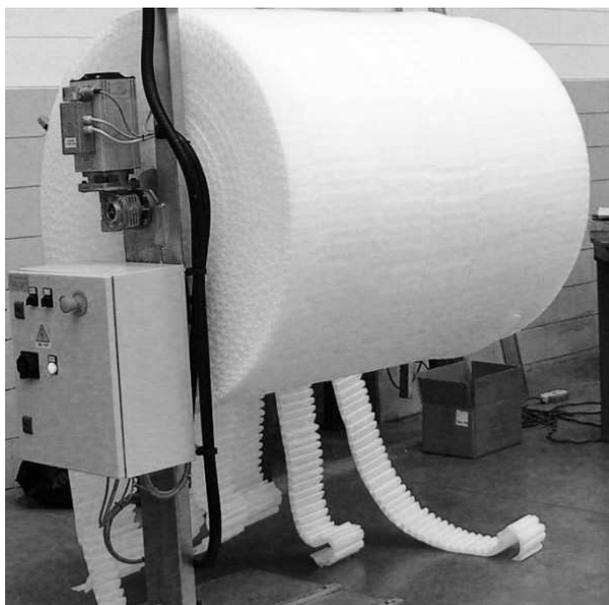
9.2.3 Elementi principali della TC1200



9-5

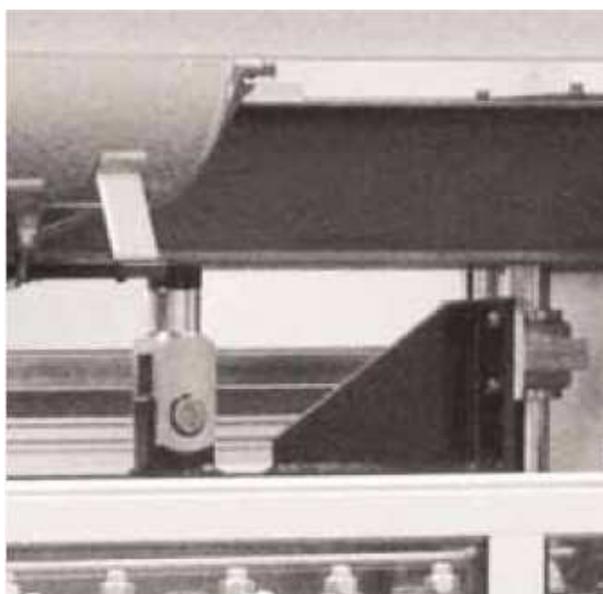


9-6



9-7

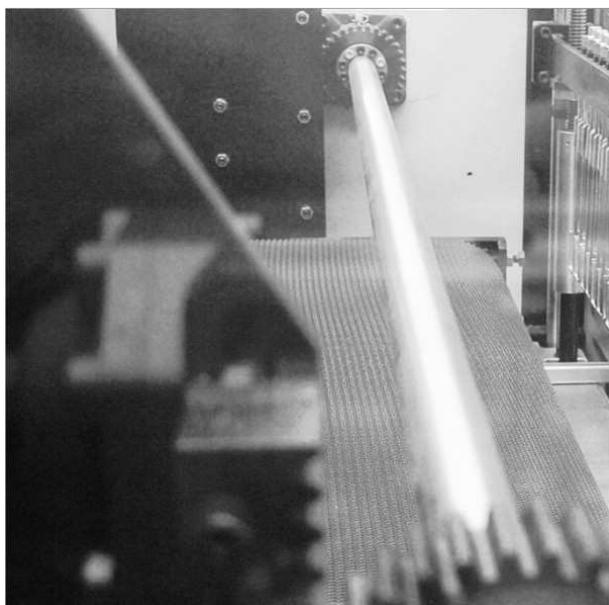
**1**



9-8

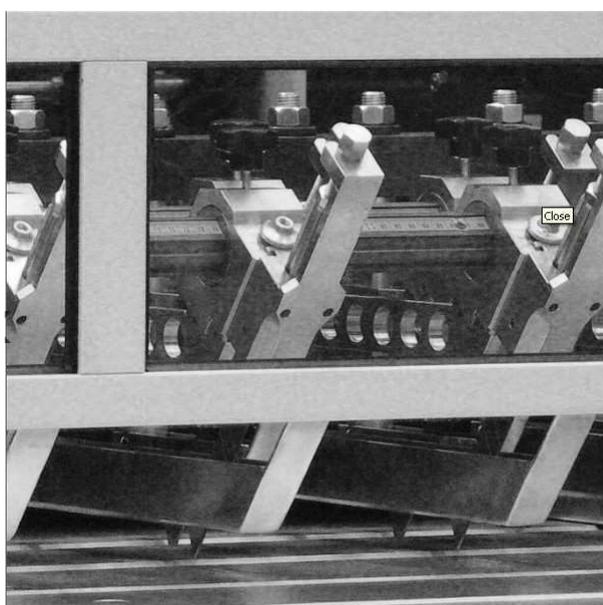
**2**

<p align="center"><b>AVVOLGITORE</b></p>	<p align="center"><b>GHIGLIOTTINA</b></p>
<p>Esso permette di avvolgere in modo semi-automatico il materiale appena lavorato fino ad un diametro di 1.5m E' specificatamente progettato per lavorare insieme alla sfogliatrice.</p>	<p align="center">Controllata elettronicamente permette il pre-taglio in direzione trasversale</p>



9-9

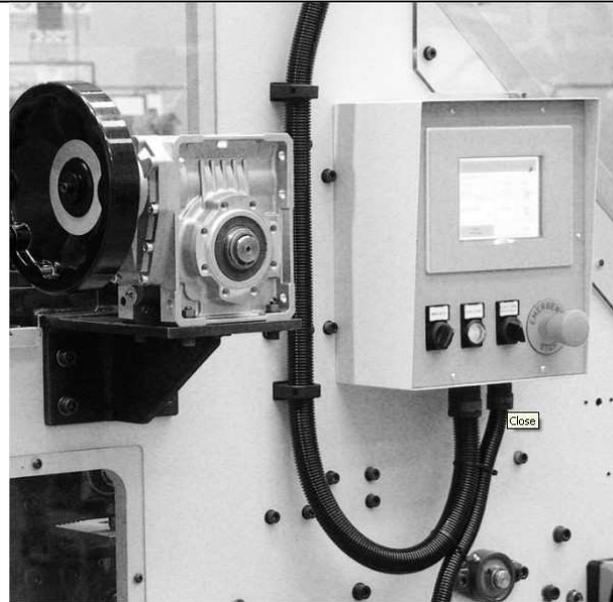
**3**



9-10

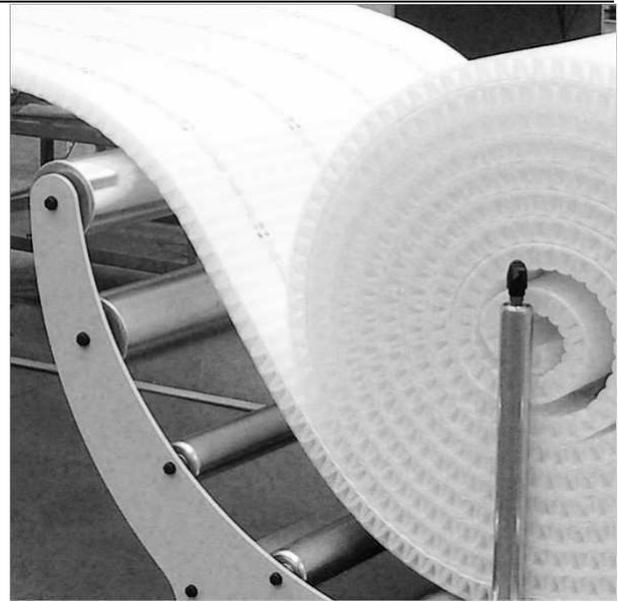
**4**

<p align="center"><b>NASTRO AVANZATORE</b></p>	<p align="center"><b>SISTEMA DI TAGLIO</b></p>
<p>Permette l'avanzamento del materiale ed è possibile controllarne la velocità</p>	<p>Una serie di coltelli garantisce il taglio del materiale trasversalmente</p>



9-11

**5**

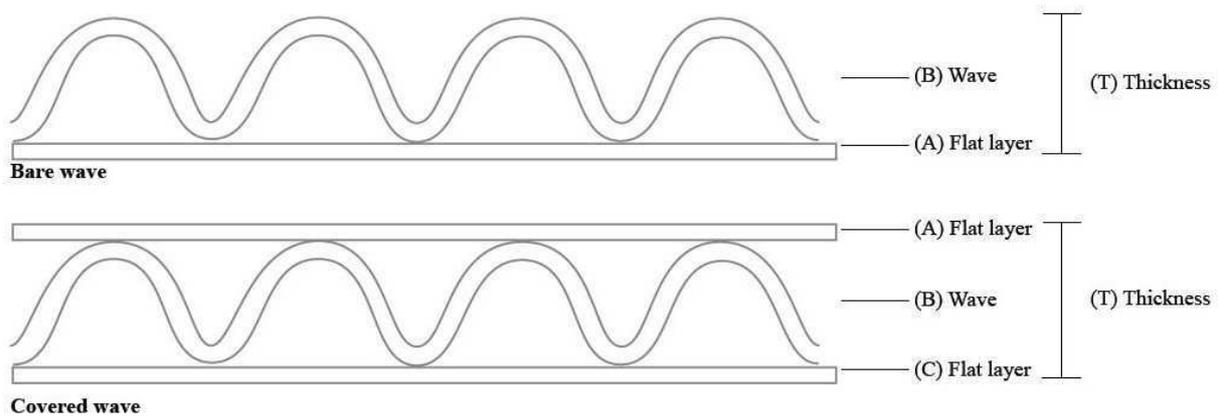


9-12

**6**

<b>CPU</b>	<b>RULLIERA AD ARCO</b>
Centralina di comando con monitor Touch-Screen	Favorisce l'avvolgimento del materiale alla fine della lavorazione

### 9.3 SINTESI DELLA GAMMA DEI PRODOTTI MONDAPLEN



9-13

#### PRODOTTI

Description	(T) Thickness	(A) Flat layer	(B) Wave	(C) Flat layer	Lenght
<b>“Bare wave” rolls</b>					
Mondaplen 20 A 33	20 mm	3 mm	3 mm	-	60 m
Mondaplen 25 A 55	25 mm	5 mm	5 mm	-	50 m
Mondaplen 30 A 58	30 mm	5 mm	8 mm	-	40 m
Mondaplen 40 A 58	40 mm	5 mm	8 mm	-	30 m
<b>“Covered wave” rolls</b>					
Mondaplen 30 A FF85	30 mm	FF	8 mm	5 mm	35 m
Mondaplen 40 A FF88	40 mm	FF	8 mm	8 mm	30 m
<b>High performances “Bare wave” rolls</b>					
Mondaplen MD 30 A 88	30 mm	8 mm	8 mm	-	35 m
Mondaplen MD 40 A 88	40 mm	8 mm	8 mm	-	30 m
<b>High performances “Covered wave” rolls</b>					
Mondaplen MD 30 A FF85	30 mm	FF	8 mm	5 mm	35 m
Mondaplen MD 40 A FF88	40 mm	FF	8 mm	8 mm	30 m
<b>Antistatic rolls (pink color)</b>					
Mondaplen AS 30 A 88	30 mm	8 mm	8 mm	-	35 m
Mondaplen AS 40 A 88	40 mm	8 mm	8 mm	-	30 m
<b>FR Flame Retardant rolls (black color)</b>					
Mondaplen FR 30 A 88	30 mm	8 mm	8 mm	-	35 m
Mondaplen FR 40 A 88	40 mm	8 mm	8 mm	-	30 m
<b>Cross Linked Polyethylene rolls (grey color)</b>					
Mondaplen XL 30 A 55	30 mm	5 mm	5 mm	-	40 m
Mondaplen XL 40 A 555	40 mm	5 mm	5 mm	5 mm	30 m

Thickness from 20 to 40 mm according to the required combination. Rolls from 120 cm height in bags diameter 1,2.

9-14

## 9.4 PROPOSTA DI UTILIZZO

L'idea è quella di introdurre questo materiale nella postazione di imballo in sostituzione di cinque materiali oggi utilizzati ( Vedi CAP:3 ):

### 9.4.1 Materiali di consumo oggi utilizzati

- **PLURIBALL H = 1 m; GR 60 (bobina da 200m ; costo 36 €)**



9-15

- **AIR EXCEL 40 MICRON (bobina da 250 m ; costo 92 €)**



9-16

- **PROTEZIONE LEVE NELLE VERSIONI A RECUPERO SUPERIORE**



9-17

- **POLITENE ESPANSO ADESIVO S = 10mm ;H=13cm  
(bobina da 50m ; costo 13.688 €)**



9-18

- **ELEMENTO IN POLISTIROLO**



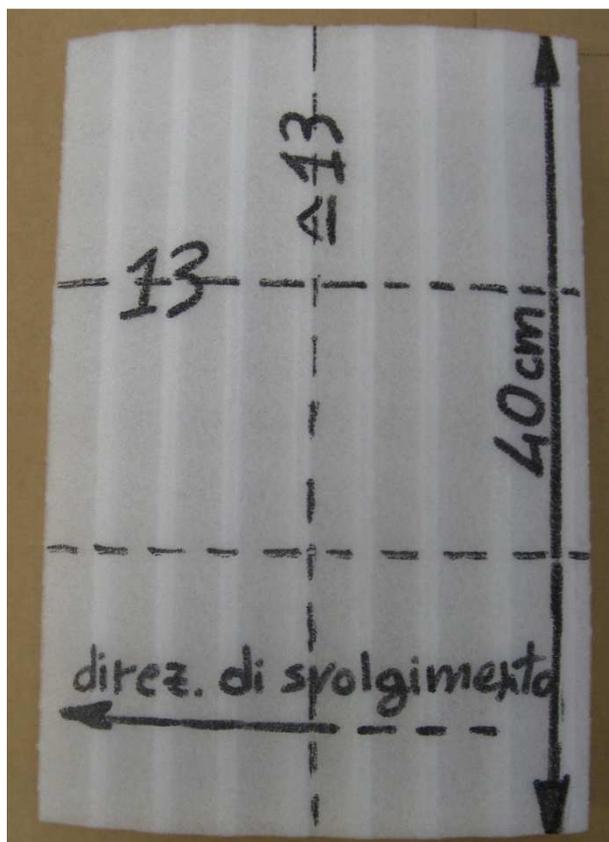
9-19

N.B. Per quanto riguarda l'elemento **AIR EXCEL 40 MICRON** bisogna ricordare che oltre al costo standard sopra espresso, bisognerebbe aggiungere il costo dell'operatore dedicato all'operazione di gonfiaggio.

Ma, essendo un'operazione effettuata mediante apposita macchina automatica, il costo dell'operatore è trascurabile.

#### 9.4.2 Specifiche del MONDAPLEN come materiale sostitutivo

Verrebbe introdotto il *MONDAPLEN BARE WAVE 20 A 33*, fornito in bobine di lunghezza = 60 m, aventi diametro di circa 1.2 m, con altezza pari a 40 cm e pretagliata in modo da fornire unità delle seguenti dimensioni, questa altezza di 40 cm permette di sfruttare tutta la capacità della macchina *TC1200*, senza dover sprecare materiale e tempo:



9-20

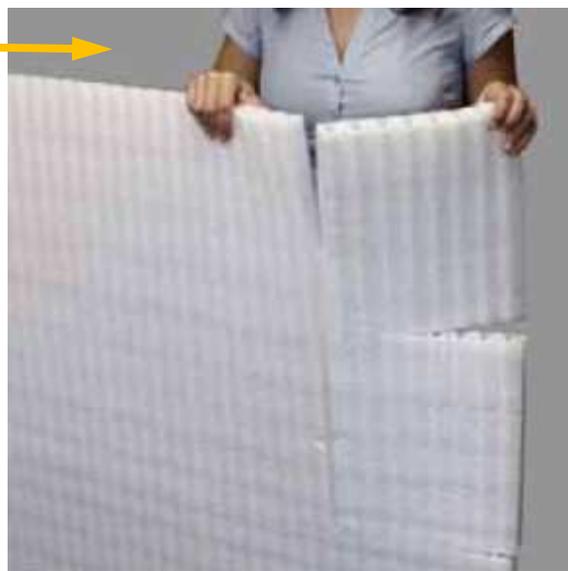


9-21

La caratteristica dei pretagli consentirebbero all'operatore di procurarsi l'effettiva quantità di materiale necessaria alle singole operazioni, evitando sprechi e senza dover utilizzare il cutter, utilizzato oggi per procurarsi elementi di **POLITENE ESPANSO ADESIVO S = 10mm**.



9-22



9-23

Inoltre avrebbero una postazione di imballaggio ridotta con un incremento dello spazio a disposizione per i propri movimenti.

Ipotesi infatti che introducendo un unico materiale, si potrebbe eliminare parte della scaffalatura, in quanto diverrebbe superflua.

La bobina del nuovo materiale potrebbe essere collocata esattamente dove ad oggi vengono poste quelle del **PLURIBALL** e del **AIR EXCEL 40 MICRON**, in particolare se ne potrebbero introdurre due per ognuna delle 3 postazioni di imballaggio.

I vantaggi sarebbero quindi molteplici, a partire dalla riduzione dei codici da gestire, sia per quel che riguarda la singola postazione che per il magazzino, inoltre il processo di imballaggio risulterebbe più facile e rapido.



9-24

### 9.4.3 Dove verrebbe utilizzato il MONDAPLEN

1. Sostituzione della forchetta di **PROTEZIONE LEVE** :

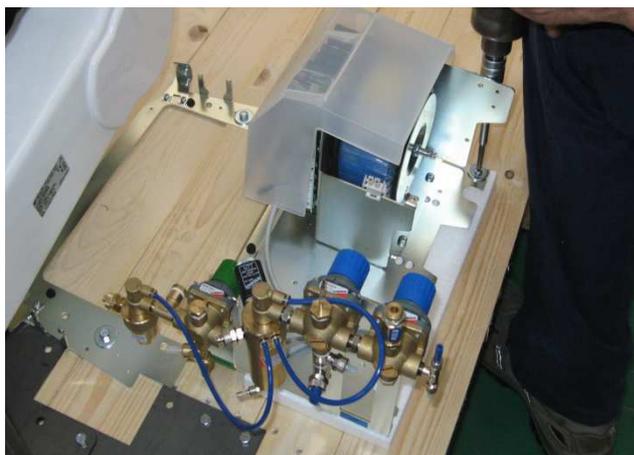


9-25

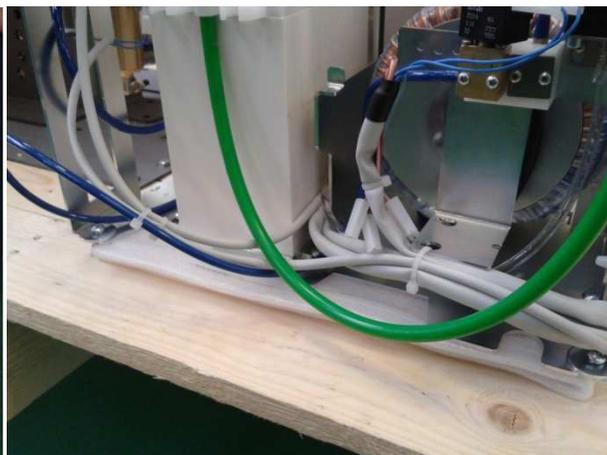


9-26

2. Sostituzione dell' **ELEMENTO DI POLISTIROLO** sotto la cassetta degli allacciamenti:



9-27



9-28

3. Come elemento protettivo sostitutivo del **POLITENE ADESIVO S = 10mm**:



9-29



9-30

4. Protezione dei supporti manipoli, sostituzione del **PLURIBALL**:



9-31



9-32

5. Protezione del gruppo idrico, sostituzione del **PLURIBALL** o del **AIR EXCEL**



9-33



9-34



9-35

6. Sostituzione del **AIR EXCEL** come base per il cofano:



9-36



9-37

## 9.5 ANALISI DEI COSTI

Per la valutazione dei costi, prendo in esame 4 possibili configurazioni:

- I. Riuniti continental Alti dove utilizzo il **PLURIBALL** come Fig. 9.32
- II. Riuniti continental Bassi dove utilizzo **AIR EXCEL** come Fig. 9.33
- III. Riuniti International Alti dove utilizzo il **PLURIBALL**
- IV. Riuniti International Bassi dove utilizzo **AIR EXCEL**

### 9.5.1 Costi attuali dei materiali che andrebbero sostituiti

- CASO I:

DESCRIZIONE	COSTO		QTA' PER RIUNITO		COSTO A RIUNITO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.060	€/pz	1	pz	€ 0.060
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0.400	€/pz	1	pz	€ 0.400
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	0.274	€/m	1	m	€ 0.274
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	0.180	€/m	2	m	€ 0.360
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	0.368	€/m	0.5	m	€ 0.184
<b>TOTALE</b>					<b>€ 1.278</b>

9-38

- CASO II:

DESCRIZIONE	COSTO		QTA' PER RIUNITO		COSTO A RIUNITO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.060	€/pz	1	pz	€ 0.060
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0.400	€/pz	1	pz	€ 0.400
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	0.274	€/m	1	m	€ 0.274
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	0.180	€/m	0	m	€ 0.000
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	0.368	€/m	2	m	€ 0.736
<b>TOTALE</b>					<b>€ 1.470</b>

9-39

- CASO III:

DESCRIZIONE	COSTO		QTA' PER RIUNITO		COSTO A RIUNITO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.060	€/pz	1	pz	€ 0.060
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0.400	€/pz	0	pz	€ 0.000
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	0.274	€/m	1	m	€ 0.274
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	0.180	€/m	0	m	€ 0.000
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	0.368	€/m	2	m	€ 0.736
<b>TOTALE</b>					<b>€ 1.070</b>

9-40

- CASO IV:

DESCRIZIONE	COSTO		QTA' PER RIUNITO		COSTO A RIUNITO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.060	€/pz	1	pz	€ 0.060
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0.400	€/pz	0	pz	€ 0.000
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	0.274	€/m	1	m	€ 0.274
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	0.180	€/m	2	m	€ 0.360
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	0.368	€/m	0.5	m	€ 0.184
<b>TOTALE</b>					<b>€ 0.878</b>

9-41

<b>COSTO MEDIO</b>					<b>€ 1.174</b>
--------------------	--	--	--	--	----------------

Costo annuale:

$$Produzione = 6500 \frac{\text{riuniti}}{\text{anno}}$$

$$Spesa\ attuale(\text{materiali sopra citati}) = 6500 * 1.174 = 7\ 631 \text{ €/anno}$$

### 9.5.2 Costo del MONDAPLEN BARE WAVE 20 A 33 :

Fornitura in bobina dalle seguenti caratteristiche:

$$Altezza = 1.2 \text{ m}$$

$$Lunghezza = 60 \text{ m}$$

$$Costo = 130 \text{ €}$$

$$\text{Costo al m [h = 1.2]} = \frac{130}{60} = 2.167 \text{ €}$$

$$\text{Costo al m [h = 0.4]} = \frac{2.167}{3} = 0.722 \text{ €}$$

$$\text{Sviluppo superficiale} = 1.2 * 60 = 72 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo al m}^2 = \frac{130}{72} = 1.806 \text{ €}$$

$$\text{Costo al cm}^2 = 1.806 * 10^{-4} \text{ €}$$

Unità operativa pretagliata:

$$Altezza = 13 \text{ cm}$$

$$Lunghezza = 13 \text{ cm}$$

$$\text{Superficie} = 169 \text{ cm}^2$$

$$\text{Costo} = 1.806 * 10^{-4} * 169 = 0.031 \frac{\text{€}}{\text{pz}}$$

### CASO I:

DESCRIZIONE	LUNGH. [m]	SURF[CM2]	U.TA' DI MONDAPLEN CORRISP.	COSTO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.35	507	3	€ 0.092
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0.4	507	3	€ 0.092
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	1	1352	8	€ 0.244
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	2	20000	118	€ 3.611
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	0.5	507	3	€ 0.092
	<b>totale [m2]</b>	<b>2.287</b>		<b>€ 4.130</b>

9-42

### CASO II:

DESCRIZIONE	LUNGH. [m]	SURF[CM2]	U.TA' DI MONDAPLEN CORRISP.	COSTO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.35	507	3	€ 0.092
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0.4	507	3	€ 0.092
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	1	1352	8	€ 0.244
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	0	0	0	€ 0.000
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	2	8000	47	€ 1.444
	<b>totale [m2]</b>	<b>1.0366</b>		<b>€ 1.872</b>

9-43

### CASO III:

DESCRIZIONE	LUNGH. [m]	SURF[CM2]	U.TA' DI MONDAPLEN CORRISP.	COSTO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.35	507	3	€ 0.092
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0	0	0	€ 0.000
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	1	1352	8	€ 0.244
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	2	20000	118	€ 3.611
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	0.5	338	3	€ 0.092
	<b>totale [m2]</b>	<b>2.2197</b>		<b>€ 4.038</b>

9-44

#### CASO IV:

DESCRIZIONE	LUNGH. [m]	SURF[CM2]	U.TA' DI MONDAPLEN CORRISP.	COSTO
ELEMENTO IN POLISTIROLO	0.35	507	3	€ 0.092
PROTEZIONE LEVE RICH.STRUM.	0	0	0	€ 0.000
POLITENE ESP. ADESIVO S=10MM	1	1352	8	€ 0.244
PLURIBALL TSL H=1MT GR.60	0	0	0	€ 0.000
BOBINA AIR EXCEL 40 MICRON	2	8000	47	€ 1.444
	totale [m2]	0.9859		€ 1.780

9-45

Quantità media	1.632	m2	Costo medio	€ 2.955
----------------	-------	----	-------------	---------

Utilizzando la bobina con H = 0.4 m, si avrebbe un consumo di circa 4.081 m/riunito.

Stima del consumo annuo:

$$Produzione = 6500 \frac{\text{riuniti}}{\text{anno}}$$

$$MONDAPLEN \text{ necessario} = 4.081 \frac{\text{m}}{\text{riunito}}$$

$$MONDAPLEN \text{ necessario (ANNO)} = 4.081 * 6500 = 26\,526 \text{ m}$$

$$Lunghezza = 60 \frac{\text{m}}{\text{bobina}}$$

$$Fabbisogno \text{ bobine } H0.4 \text{ m} = \frac{26526}{60} = 442 \frac{\text{pz}}{\text{anno}}$$

$$Fabbisogno \text{ bobine } H1.20 \text{ m} = \frac{442}{3} = 148 \frac{\text{pz}}{\text{anno}}$$

Costo annuale:

$$Spesa \text{ annuale (MONDAPLEN)} = 6500 * 2.955 = 19\,207 \text{ €/anno}$$

In seconda analisi si potrebbe pensare di avvolgere i riuniti nei casi I e III, con una quantità di MONDAPLEN come nei casi II e IV, poiché a differenza di quest'ultimo avremmo comunque uno spessore maggiore di materiale ammortizzante.

CASO I:

$$\text{Costo} = 1.963 \text{ €}$$

CASO III:

$$\text{Costo} = 1.871 \text{ €}$$

Ed il costo medio nei 4 casi di riferimento:

$$\text{Costo Medio} = 1.963 + 1.872 + 1.871 + 1.780 = 1.872 \text{ €}$$

Costo annuale:

$$\text{Spesa Annuale} = 6500 * 1.872 = 12\ 168 \text{ €/anno}$$

### 9.5.3 Considerazioni

Da questa analisi emerge un evidente aumento dei costi di materiale se si decidesse di introdurre il *MONDAPLEN* in linea, bisogna inoltre ricordare che la tipologia presa in esame non è adesiva, ed alcune applicazioni potrebbero risultare poco pratiche.

Risulterà necessaria anche un'attività di scouting del personale addetto all'imballaggio al fine di ridurre al minimo gli sprechi di materiale.

Tra i vantaggi indiscutibili si può annoverare la maggior praticità in senso generale, i pretagli sono infatti un aspetto molto positivo; la conformazione del materiale permette inoltre un potere ammortizzante decisamente migliore del *PLURIBALL* o del *AIR EXCEL*, a differenza di quest'ultimo non presenta infatti rischi di perdita di pressione e conseguente mancata protezione.

A livello logistico porterebbe una riduzione di codici, che passerebbero da 5 a 1 soltanto, ed i benefici a livello sia di ingombro in postazione sia dei volumi a magazzino sono evidenti ma difficilmente quantificabili economicamente.

#### 9.5.4 Riepilogo sull' introduzione del MONDAPLEN

##### PRO:

- Praticità
- Riduzione degli sprechi
- Riduzione dei volumi a magazzino
- Riduzione postazione imballo
- Meno rischi per l'operatore
- Maggior potere ammortizzante
- Riduzione dei codici da gestire
- Fornitore già presente in azienda

##### CONTRO:

- Aumento dei costi
- Non presenta lato adesivo

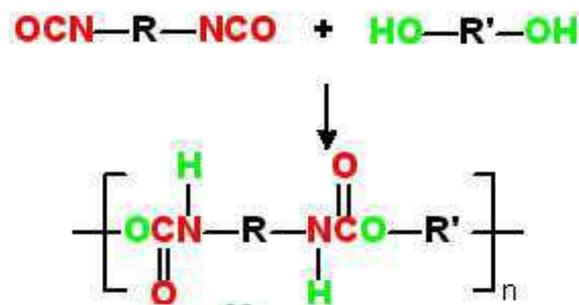
# 10 UTILIZZO DI MATERIALI NON CONVENZIONALI

Dopo un'attenta ricerca in rete, sono emersi alcuni spunti interessanti per l'utilizzo di materiali da imballo non molto utilizzati oggi giorno nel panorama mondiale.

In particolare è necessario studiare dei sistemi che possano sostituire il POLIURETANO ESPANSO, fino a qualche anno fa ai vertici del settore per l'iniezione in loco per il riempimento degli spazi vuoti all'interno degli imballi di oggetti relativamente complessi.

## 10.1 IL POLIURETANO

Con il termine poliuretano si indica una vasta famiglia di polimeri in cui la catena polimerica è costituita di legami uretanici -NH-(CO)-O-.



10-1

I polimeri uretanici sono largamente impiegati nella produzione di una grande varietà di materiali. La reazione chimica per la sintesi dei poliuretani è stata scoperta da Bayer nel 1947. I poliuretani sono ottenuti per reazione tra un diisocianato (aromatico o alifatico) e un poliolo (tipicamente un glicole poli-propilenico o un poliestere-diolo), in presenza di catalizzatori per aumentare la velocità della reazione e di altri additivi per conferire determinate caratteristiche al materiale da ottenere; in particolare: tensioattivi (surfactants in inglese) per abbassare la tensione superficiale e quindi favorire la formazione della schiuma (nel caso di poliuretani espansi), ritardanti di fiamma, per i settori di applicazione ove ciò è richiesto, agenti espandenti (nel caso in cui si vogliono produrre delle schiume poliuretaniche).

Sono schiume flessibili utilizzate soprattutto per produrre materassi e imbottiture per l'arredamento e per l'auto. La loro produzione si può ottenere

con due tecnologie differenti: per colata o per stampaggio. Nella prima, i vari componenti della reazione vengono colati, in continuo, su un nastro trasportatore (di larghezza circa 2 metri) ottenendo un "blocco continuo" di altezza circa 1 metro che, a fine reazione, (circa 180 secondi) può essere tagliato in spezzoni di lunghezza voluta. Essi dopo maturazione (circa 24-48 ore) possono essere tagliati in lastre e fogli dello spessore richiesto, secondo gli ordini di vendita.

Con la tecnologia dello stampaggio: colatura (a bassa pressione) o iniezione (ad alta pressione) in uno stampo, è possibile ottenere imbottiture preformate già pronte per l'utilizzo, senza bisogno di taglio o sagomatura. Questo è il caso delle imbottiture dei sedili e schienali destinati principalmente al settore auto ed in minor misura per l'arredamento che impiega, principalmente, schiume tagliate dal blocco continuo.

#### **10.1.1 Gli effetti dannosi del Poliuretano**

Negli ultimi anni sono intervenute normative per la riduzione dell'utilizzo delle schiume poliuretatiche, ad oggi infatti è stato certificato il rilascio di tossine e fumi nocivi alla salute durante le operazioni di iniezione, di conseguenza le aziende che continuano ad utilizzarlo sono obbligate ad avere una postazione dedicata, protetta all'interno di una cabina ventilata.

Inoltre alcuni paesi come la Cina e gli Stati Uniti ne vietano l'ingresso poiché se bruciato produce gas talmente dannosi da portare brevemente alla morte chiunque sia nelle immediate vicinanze.

## **10.2 INFLATABLE PACKAGING**

Il materiale che più si avvicina a livello prestazionale alle schiume poliuretatiche è l'aria, in quanto possiede la medesima capacità riempitiva dei vuoti all'interno degli imballaggi.

Ad oggi sono diffusi prodotti simili al AIR EXCEL , sopra illustrato, dalle forme e dimensioni più svariate, ma nessuno di essi svolge funzione riempitiva ed ammortizzante.

Soltanto un eventuale gonfiaggio in posizione e non precedente, avrebbe benefici indiscutibili.

### 10.2.1 Sistema Air-Bag per l'intero riunito

Ho ipotizzato di utilizzare Superi – Air della Inflatable Packaging Incorporated, con il quale si dovrebbero effettuare le seguenti operazioni



10-2

1. Taglio della lunghezza necessaria dalla bobina di fornitura, utilizzando apposito clip
2. Avvolgimento dell'intero riunito
3. Inserimento del cartone, aperto superiormente
4. Gonfiaggio tramite compressore.

**N.B.** Il gonfiaggio deve essere effettuato soltanto dopo aver posizionato il cartone, altrimenti il beneficio risulterebbe minimo.

Si otterrebbe quindi un risultato simile a quello di figura, con il cartone posizionato esternamente, senza nessuno spazio di possibile contatto tra le superfici del riunito ed il cartone esterno, in quanto tra essi è presente la barriera ad aria.



10-3

**Caratteristiche generali:**

- **Sostenibilità:** Completamente riciclabile e permette un risparmio del 90% sulla materia da imballaggio
- Protezione ammortizzante e riempitiva tramite barriera ad aria
- Camere individuali per scongiurare eventi catastrofici
- Quattro differenti altezze disponibili: 30/60/90/120 cm

### 10.2.2 Sistema a tubolare gonfiabile per la protezione interna

Ho pensato poi di utilizzare la stessa strategia di imballaggio gonfiabile come protezione interna.

In particolare, ho ipotizzato l'utilizzo di un tubolare gonfiabile da avvolgere al riunito dove ci potrebbero essere ipotetici contatti tra le parti, anche in questo caso le operazioni devono essere svolte nel seguente ordine:

1. Disposizione del tubolare (ancora sgonfio)
2. Inserimento del cartone, aperto superiormente
3. Gonfiaggio del tubolare tramite compressore

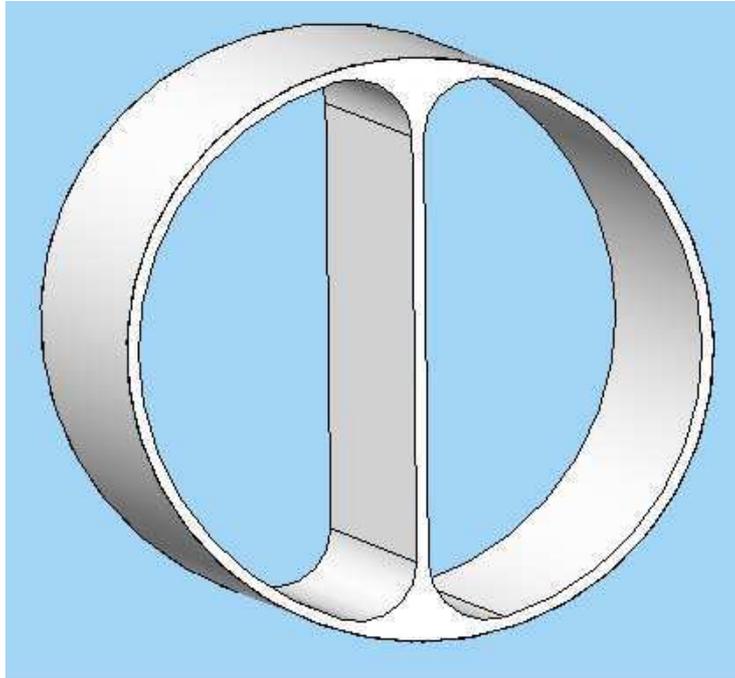
Questo sistema risulterebbe sicuramente molto rapido ed efficace in termini di ammortizzazione, unito inoltre al sistema *Superi – Air*, formerebbe una protezione ottimale nei confronti dei possibili danni da trasporto.

#### Caratteristiche ipotizzate:

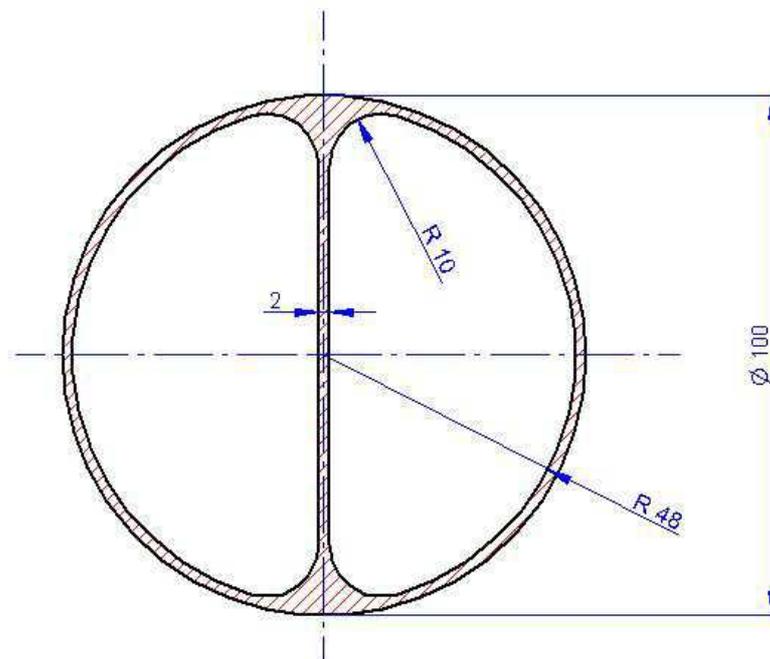
- Stesso materiale del sistema Superi – Air
- Diametro del tubolare dopo il gonfiaggio = 100 mm circa
- Pressione di gonfiaggio < 1 bar, tale da garantirne la flessibilità
- Lunghezza del tubolare = 4 m (stimata tramite test con tubo verde 10mm, vedi Figura)



- Due camere separate tali da aumentarne la sicurezza
- Unica cucitura termosaldata lungo il profilo
- Unica valvola per il gonfiaggio



10-5



10-6

# 11 CONCLUSIONI

Sulla base dell' analisi effettuata sono emerse delle evidenti criticità riguardanti la fase di imballaggio, ormai però radicate e quindi difficilmente eliminabili.

Prima fra tutte posso citare il collaudo a fine linea, che avrà indiscutibilmente vantaggi durante la fase di installazione presso lo studio medico, ma che vincola alla spedizione del riunito odontoiatrico già premontato. Ritengo infatti che la possibilità di trasferire la fase di collaudo immediatamente dopo l'installazione definitiva, risolverebbe le problematiche riguardanti l'imballaggio. La macchina potrebbe infatti essere suddivisa in componenti base e spedita mediante un collo differente, non sviluppato in altezza come quelli attuali, ottimizzando così il volume occupato. Si potrebbe inoltre unificare questo collo di spedizione, ottimizzandone la parte interna al fine di poter alloggiare tutti i componenti base, all'interno di sagome ammortizzanti, che ne garantirebbero l'integrità durante il trasporto

La problematica più importante è infatti la conformazione della struttura, che essendo sviluppata in altezza, presenta componenti molto distanti dalla base che risentono dunque delle vibrazioni da trasporto in maniera eccessiva.

In prima analisi era emersa l'eventualità di modellizzare la struttura per sviluppare simulazioni di trasporto ed eventualmente test di caduta tramite applicativi software, ma la complessità della struttura e l'ingente numero di variabili in gioco, avrebbe richiesto tempi di sviluppo non giustificabili, in quanto i risultati sarebbero stati comunque ricchi di incertezze.

Le mie proposte di intervento non rivoluzionano certamente il processo di imballaggio attuale, ma ne ottimizzano i tempi e la gestione dei materiali utilizzati. Per aumentarne la qualità bisogna inoltre cercare di agevolare l'operatore, qui interviene infatti l'introduzione del MONDAPLEN pretagliato ed il fissaggio a terra del carrello sopra il quale è posto il pallet, quest'ultimo intervento non comporta alcun costo.

L'analisi sul collo esterno è fondamentale in ottica di riduzione dei costi, aumentare infatti il numero di colli caricabili sul container, ha un impatto notevole sui costi di spedizione, ridurre il numero di viaggi necessari, significa ingente risparmio per una azienda dai grandi numeri, come quella in questione.

L'introduzione degli indicatori d'urto SHOCKWATCH, possiedono certamente un notevole costo, ma dal mio punto di vista è assolutamente

giustificato quando si trasportano oggetti costosi come nel caso in questione. Dato inoltre il grande impatto visivo, svolgono la funzione di deterrente nei confronti della cattiva movimentazione durante tutto il ciclo, in ogni momento l'operatore addetto potrà verificare l'attivazione della bolla indicatrice. In tal caso, quest'ultimo provvederà ad avviare tutte le procedure assicurative, l'azienda potrà così procedere con la richiesta di risarcimento danni alla ditta trasportatrice.

## 12 BIBLIOGRAFIA

- [1] *Manuale dell' Imballaggio; Laboratoire National D' Essais – Emballages Magazine; Tecniche Nuove, 1994.*
- [2] *Consuntivo Generale 2011; Istituto Nazionale dell' Imballaggio*
- [3] *Appunti del Corso di Meccanica Del Veicolo; Politecnico di Milano*
- [4] <http://www.coptimal.com/products/autoload.htm>
- [5] <http://www.mondaplen.com/>
- [6] [http://www.mondaplen.com/?page\\_id=2133](http://www.mondaplen.com/?page_id=2133)
- [7] <http://www.labequipment.com/index.html>
- [8] <http://shockwatch.com.au/index.htm>



# 13 APPENDICE

## 13.1 ALLEGATO A:

### TABELLA MICROSOFT EXCEL PER CALCOLO SPEDIZIONI

SITUAZIONE ATTUALE													DELTA_PROPOSTA					
CONTAINER 20' = 586x231x238																		
combinaz.	R_115	Poltr.	Segg.	Monit.	RADIOG COMP	Vol. %	combinaz.	R_115	P	S	M	RAD	C	Δ Vol. %				
A	7	7	7	0	0	70.16	A	+2	+2	0	0	0	+1	16.51				
B	8	8	16	8	8	86.63	B	+1	-1	+1		+1	0	5.82				
C	9	9	9	9	8	88.80	C	+1	=	=		-3	0	3.51				
D	9	9	18	0	0	87.98	D											
E	10	10	0	12	0	84.46	E											
F	10	10	0	6	6	85.79	F	=	=	0	+10	+6	0	5.46				
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME							83.94	Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME +						7.83				
CONTAINER 40' = 1201x231x238																		
combinaz.	R_115	P	S	M	RAD	C	Vol. %	combinaz.	R_115	P	S	M	RAD	C	Δ Vol. %			
A	15	15	30	0	0	10	77.21	A	+3	+3	+2	0	0	=	10.31			
B	17	17	34	17	0	0	83.60	B	+1	+1	+2	+27	0	0	8.97			
C	18	18	36	0	0	0	85.96	C	+1	+1	+2	+14	0	0	7.14			
D	19	19	19	19	0	0	86.00	D	+1	+1	+5	+13	0	0	6.29			
E	20	20	20	0	0	0	86.47	E	+1	+1	+1	+26	0	0	7.02			
F	22	22	0	12	0	0	85.03	F	+1	+1	0	+13	0	0	8.43			
G	22	22	0	0	6	0	87.17	G	+1	+1	0	+25	=	0	6.12			
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME							84.48	Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME +						7.75				
CONTAINER 40' HC = 1201x231x268																		
combinaz.	R_115	P	S	M	RAD	C	Vol. %	combinaz.	R_115	P	S	M	RAD	C	Δ Vol. %			
A	20	20	40	0	0	0	84.73	A	+1	+1	+4	+34	0	0	9.26			

IMBALLI BASSI

SITUAZIONE ATTUALE													DELTA_PROPOSTA				
<b>CONTAINER 20' = 586x231x238</b>																	
combinaz.	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	Vol. %	combinaz.	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	Vol. %
A	6	0	6	12	6	6	6	76.53	A	+1	0	+1	+6	+14	0	0	15.54
B	NO	6	6	12	6	6	0	73.56	B								
C	7	0	7	7	0	0	0	67.38	C								
D	0	7	7	7	0	0	0	67.85	D								
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME									<b>Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME</b>								
71.33																	
<b>CONTAINER 40' = 1201x231x238</b>																	
combinaz.	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	Vol. %	combinaz.	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	Vol. %
A	0	14	14	28	14	0	0	76.76	A	0	+1	+1	+8	+14	0	0	11.98
B	14	0	14	28	0	14	0	76.36	B	+4	0	+4	+8	0	+1	0	18.28
C									C								
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME									<b>Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME +</b>								
77.56									14.83								
<b>CONTAINER 40' HC = 1201x231x268</b>																	
combinaz.	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	Vol. %	combinaz.	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	Vol. %
A	0	15	15	30	15	15	0	79.09	A	0	+1	+1	+5	+14		0	12.82
A2	15	0	15	30	15	15	0	75.36	A2	+3	0	+3	+2	+21	+3	0	13.87
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME									<b>Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME +</b>								
79.09									13.35								

IMBALLI ALTI

SITUAZIONE ATTUALE														DELTA_PROPOSTA													
CONTAINER 20' = 586x231x238														CONTAINER 40' = 1201x231x238													
combinaz.	R_115	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	DC	PRF D	A' FLOOR	Vol. %	combinaz.	R_115	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	DC	PRF D	A' FLOOR	Vol. %		
A1	4	0	4	8	8	8	0	0	0	0	0	79.57	A1	-	0	-	=	+6	+12	0	0	0	0	0	0	8.16	
A2	4	4	0	8	8	8	0	0	0	0	0	77.28	A2	+1	=	0	+1	+10	+2	0	0	0	0	0	0	15.48	
B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81.00	B1	11	0	=	+1	+3	0	0	0	0	0	0	0	9.34	
R2	8	1	0	9	9	9	0	0	0	0	0	80.51	R2	+1	=	0	+1	+3	+10	0	0	0	0	0	0	12.29	
C1	6	0	2	8	10	0	0	0	0	0	0	80.88	C1	+1	0	-	+1	-	+10	0	0	0	0	0	0	9.89	
C2	6	2	0	8	16	0	0	0	0	0	0	79.73	C2	+1	=	0	+1	=	+10	0	0	0	0	0	0	9.76	
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME														Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME +													
79.64														10.79													
CONTAINER 40' = 1201x231x238														CONTAINER 40' = 1201x231x268													
combinaz.	R_115	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	DC	PRF U	A' FLOOR	Vol. %	combinaz.	R_115	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	DC	PRF U	A' FLOOR	Vol. %		
A1	7	0	10	17	17	17	0	0	0	0	0	83.48	A1	+1	0	-	+1	+5	+23	0	0	0	0	0	0	8.19	
A2	7	10	0	17	17	17	0	0	0	0	0	80.68	A2	+1	=	0	+1	+5	+23	0	0	0	0	0	0	8.35	
B1	10	0	8	18	18	0	0	0	0	0	0	83.05	B1	+1	0	=	+1	+4	+23	0	0	0	0	0	0	7.70	
B2	10	8	0	18	18	18	0	0	0	0	0	84.46	B2	+1	+1	0	+2	+3	+22	0	0	0	0	0	0	9.28	
B3	10	8	0	18	18	0	16	0	0	0	0	88.41	B3	+1	+1	0	+2	+4	0	+1	0	0	0	0	0	8.68	
C1	18	0	2	20	0	0	0	0	0	0	0	76.85	C1	+1	0	-	+1	+12	+24	+6	0	0	0	0	0	13.32	
C2	18	2	0	20	0	0	0	0	0	0	0	78.29	C2	+1	+1	0	+2	+11	+18	+4	0	0	0	0	0	15.17	
D1	8	0	8	16	32	16	0	0	0	0	0	84.79	D1	+1	0	=	+1	+2	+16	0	0	0	0	0	0	5.63	
D2	0	8	0	16	32	0	16	0	0	0	0	81.17	D2	+1	+1	=	+2	+4	+10	+7	0	0	0	0	0	12.96	
E1	13	0	4	17	34	0	0	0	0	0	0	83.70	E1	=	0	+1	+1	=	+9	+10	0	0	0	0	0	9.10	
C2	13	4	0	17	34	0	0	0	0	0	0	82.58	C2	+1	+1	0	+2	+5	+4	+4	0	0	0	0	0	9.97	
F1	12	0	5	0	22	0	0	0	0	17	0	52.15	F1	+8	0	+5	0	+20	0	0	0	0	0	+18	0	38.76	
F2	12	5	0	0	22	0	0	0	0	17	0	50.75	F2	+9	+5	0	0	+22	0	0	0	0	0	+27	0	40.91	
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME														Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME													
77.72														14.31													
CONTAINER 40' HC = 1201x231x268														CONTAINER 40' HC = 1201x231x268													
combinaz.	R_115	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	DC	PRF D	A' FLOOR	Vol. %	combinaz.	R_115	R_135	R_150	P	S	M	RAD	C	DC	PRF D	A' FLOOR	Vol. %		
A1	7	10	0	17	34	0	0	0	3	5	3	76.95	A1	+2	+1	0	+3	+6	0	0	0	0	+9	+17	+11	16.86	
A2	7	0	0	17	34	0	0	0	3	5	3	79.57	A2	+2	0	+1	+3	+6	0	0	0	0	+4	+15	+14	15.32	
OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME														Δ OCCUPAZIONE MEDIA DEL VOLUME													
70.20														10.14													

IMBALLI MISTI