

I SISTEMI DI RITENUTA NEL VEICOLO (AIR BAG E CINTURE DI SICUREZZA) (APPROFONDIMENTI)

Ing. Dante Bigi
dirigente d'azienda

1	SICUREZZA DEL VEICOLO E INCIDENTI	8
1.1	Sicurezza attiva e sicurezza passiva	8
1.2	Classificazione delle configurazioni incidentologiche	9
1.3	Classificazione delle tematiche di sicurezza passiva	12
2	SICUREZZA PASSIVA IN URTO FRONTALE: LE PROBLEMATICHE DI RITENUTA	13
2.1	Quadro generale	13
2.2	Le problematiche di ritenuta in urto frontale	18
2.3	L'evoluzione storica dei sistemi di ritenuta in urto frontale	19
2.4	La sensoristica per i sistemi di ritenuta in urto frontale: evoluzione storica	32
2.5	Logiche di taratura della sensoristica in urto frontale	35
2.6	Cenni ad ulteriori problematiche relative ai sistemi di ritenuta in urto frontale	41
2.7	La sensoristica secondaria per i sistemi di ritenuta in urto frontale	43
2.8	Future evoluzioni della sensoristica per i sistemi di ritenuta in urto frontale	45
3	SICUREZZA PASSIVA IN URTO LATERALE: LE PROBLEMATICHE STRUTTURALI E DI RITENUTA	47
3.1	Quadro generale	47
3.2	Le problematiche di ritenuta in urto laterale	49
3.3	L'evoluzione storica dei sistemi di ritenuta in urto laterale/tipologie di airbag	56
3.4	La sensoristica per i sistemi di ritenuta in urto laterale	66
3.5	Le logiche di taratura della sensoristica in urto laterale	67
3.6	Cenni ad ulteriori problematiche relative ai sistemi di ritenuta in urto laterale	71
3.7	La sensoristica secondaria per i sistemi di ritenuta in urto laterale	71

1 SICUREZZA DEL VEICOLO E INCIDENTI

1.1 Sicurezza attiva e sicurezza passiva

Nella progettazione di un autoveicolo le tematiche della sicurezza dell'utenza sono fondamentali ed influenzano in modo decisivo le scelte progettuali ed i contenuti tecnici.

È però necessario distinguere subito tra **sicurezza attiva** e **sicurezza passiva**.

La figura 1 fornisce le definizioni relative a questi due campi disciplinari.

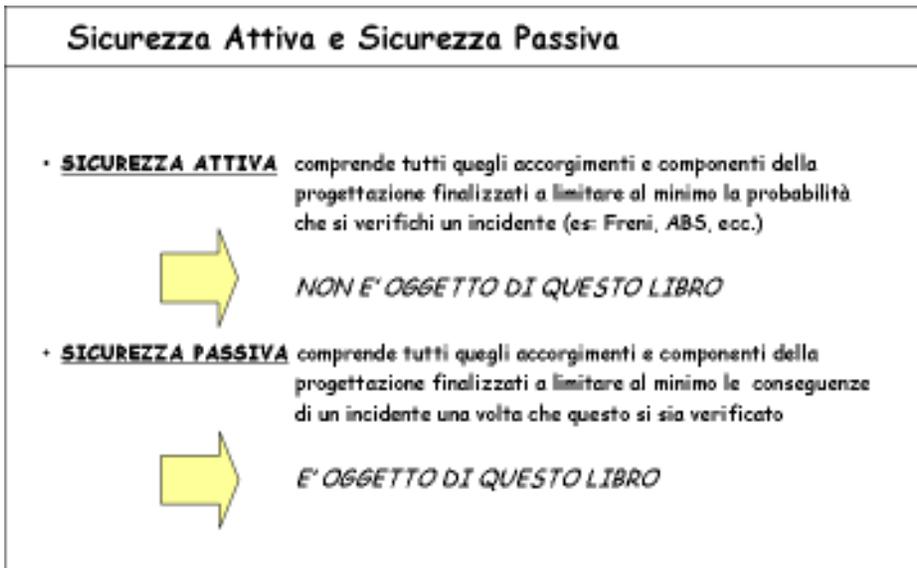


Figura 1

Il presente contributo si limita ad analizzare le tematiche di **sicurezza passiva**, cioè quella disciplina tecnica che consente di evitare o perlomeno limitare i danni di un incidente automobilistico una volta che questo si sia verificato.

Non verranno quindi trattate tematiche di notevole rilevanza quali freni, *handling* del veicolo, prestazioni motoristiche ecc. che hanno un forte impatto in termini di sicurezza attiva ma svolgono un ruolo del tutto secondario per la sicurezza passiva.

È bene sottolineare subito che la sicurezza passiva è una tematica scientifica interdisciplinare che presenta in sé una notevole complessità.

Queste sono le principali aree tecnico-scientifiche interessate dalla sicurezza passiva:

- **analisi statistica degli incidenti, delle loro cause e delle loro conseguenze.** Obiettivo di queste attività è un'approfondita comprensione dei meccanismi dinamici e lesivi con lo scopo di definire le priorità negli interventi di miglioramento tecnico e legislativo;
- **discipline biomeccaniche** legate allo **studio delle lesioni** tipiche degli inci-

denti automobilistici, alle loro cause, alle loro conseguenze ed alla realizzazione di "surrogati meccanici" (manichini, componenti) in grado di riprodurre gli aspetti principali dei meccanismi lesivi e quindi di permettere una progettazione ottimizzata ed una sperimentazione appropriata (anche questa tematica non è oggetto del presente contributo se non attraverso alcuni cenni specifici presenti in diverse parti del testo);

- tematiche relative alla **riduzione della lesività e dei danni** in configurazioni di **urto frontale**;
- tematiche relative alla **riduzione della lesività** in configurazioni di **urto laterale**;
- tematiche relative alla **riduzione della lesività** in configurazioni di **rollover**;
- tematiche relative alla **riduzione della lesività** in configurazioni di **urto posteriore**;
- tematiche relative alla riduzione della **lesività dei veicoli** nei confronti degli **utenti della strada non protetti** (motociclisti, ciclisti, pedoni). Questo argomento è trattato solo a livello introduttivo e limitatamente alla problematica relativa ai pedoni;
- **prove tecniche legate alla componentistica degli interni dell'autoveicolo** relativamente ad aspetti che concernono la sicurezza passiva;
- tematiche specifiche relative al **trasporto di bambini in vettura**.

1.2 Classificazione delle configurazioni incidentologiche

Ogni incidente stradale ha sue peculiarità che lo rendono unico.

Moltissime sono infatti le variabili in gioco, dai veicoli coinvolti, alla sede stradale, alle condizioni atmosferiche ecc.

Già dagli anni 60 prima negli Stati Uniti ed in seguito nei principali Paesi europei (e negli altri paesi avanzati quali ad es. Giappone, Canada, Australia, ecc.) lo studio degli incidenti e la loro classificazione ha interessato un numero crescente di ricercatori e di istituzioni private e governative.

A 40 anni di distanza il patrimonio di conoscenze accumulato nel campo dell'analisi statistica delle configurazioni incidentologiche è letteralmente impressionante ed ha contribuito in modo determinante a stabilire le priorità tecniche con le quali sono state sviluppate le diverse legislazioni nazionali e sono stati definiti i *ratings* di valutazione.

Questi studi hanno permesso di stabilire che, nonostante le peculiarità che caratterizzano ogni singolo sinistro, è possibile stabilire 5 grandi famiglie di incidenti all'interno delle quali perlomeno gran parte degli eventi possono essere classificati:

- 1 urti frontali,
- 2 urti laterali,
- 3 ribaltamenti (*rollover*),
- 4 urti posteriori,
- 5 urti che coinvolgono utenti della strada non protetti (pedoni, ciclisti, motociclisti).

Nelle prime quattro categorie di sinistri sono coinvolti vetture o veicoli

commerciali (*trucks*), singolarmente (urti contro ostacolo fisso) o in impatti veicolo contro veicolo.

L'ultima categoria si riferisce agli urti che coinvolgono utenti della strada che, per il mezzo di locomozione prescelto, non sono adeguatamente protetti nel caso di sinistri stradali. Evidentemente gli incidenti che coinvolgono utenti della strada non protetti hanno esiti statisticamente molto severi e costituiscono una categoria a parte che richiede accorgimenti tecnici e costruttivi specifici (sull'efficacia dei quali non esiste oggi unanimità di consensi presso gli specialisti del settore).

È innanzitutto opportuno sottolineare che nel definire l'importanza relativa di queste **5 categorie incidentologiche** relativamente al complesso degli eventi lesivi vi sono **alcune variabili** che giocano un ruolo fondamentale:

- **modo in cui sono misurate le lesioni.** Infatti le lesioni possono essere classificate considerando o non considerando le conseguenze a lungo termine. Nel seguito si farà riferimento alla scala AIS che misura in realtà solo la pericolosità delle lesioni rispetto alla probabilità di decesso. Questa scala, con valori da 1 (probabilità minima di decesso) a 6 (lesione fatale) sottostima in generale tutte le lesioni che provocano danni permanenti ma non tali da mettere in pericolo la vita del soggetto (es. lesioni ai piedi, lesioni alle ginocchia ecc.). Per questo motivo la classificazione che verrà nel seguito presentata (e che considera solo lesioni gravi o mortali definite come AIS pari o superiori al grado 3) sottostima ad esempio la rilevanza delle lesioni in urto posteriore, dove i danni più rilevanti sono dati dalle lesioni cervicali, classificate solitamente in grado 1 o 2 della scala AIS;
- **utilizzo statistico medio delle cinture di sicurezza** nel parco circolante. Questo parametro è particolarmente importante in quanto l'utilizzo delle cinture di sicurezza tende a ridurre in modo significativo l'incidenza delle lesioni in urto frontale ed in modo drastico le lesioni in *rollover*. Quindi i Paesi nei quali le cinture di sicurezza sono utilizzate in modo più sistematico presentano una maggior rilevanza statistica dal punto di vista lesivo per gli urti laterali;
- **tipologia del parco circolante.** Questa variabile, in merito alla quale è possibile fare numerosi esempi all'interno di una casistica molto vasta, gioca anch'essa un ruolo chiave. A titolo esemplificativo vale la pena citare la percentuale dei veicoli cosiddetti SUV (*fuori strada, pick up* ecc.) in relazione al numero totale di autovetture.

Un aumento considerevole di SUV nel parco circolante provoca una maggior rilevanza delle configurazioni di *rollover*. Questo fenomeno si sta presentando in modo consistente negli USA dove la tipologia del parco circolante è cambiata in modo significativo negli ultimi 20 anni a causa dell'affermarsi di questa categoria di veicoli;

- **tipologia della rete stradale e del territorio.** Anche per queste variabili esistono diverse situazioni specifiche: a titolo esemplificativo vale la pena di citare la quantità di incroci che in sé tende ad accrescere la rilevanza degli urti laterali.

Come vedremo in dettaglio nel seguito le conseguenze lesive degli urti late-

rali sono statisticamente più gravi di quelle degli urti frontali a parità di severità di impatto. Per questo motivo in tutta la rete stradale europea si stanno affermando soluzioni infrastrutturali che privilegiano l'introduzione delle cosiddette "rotonde alla francese" con precedenza sempre ai veicoli che hanno già impegnato la rotonda stessa. Questo tipo di manufatti tendono a trasformare gli urti laterali in urti di diversa tipologia (latero-posteriori, latero-anteriori, ecc.) con una generale riduzione delle conseguenze lesive;

- **tipologia dei conducenti degli autoveicoli.** La propensione al rischio è un fattore chiave nella definizione della probabilità dell'evento lesivo.

I guidatori più propensi ad assumere rischi alla guida sono i maschi di età compresa tra i 18 ed i 24 anni.

La tipologia dei conducenti porta anche a complesse modifiche nelle percentuali relative delle diverse tipologie di impatto;

- **altre variabili di minore importanza.** Tralasciando la categoria degli urti contro utenti non protetti che non verrà trattata in dettaglio in questa pubblicazione ma solo citata, l'importanza relativa delle categorie 1-4 nel panorama incidentologico tipico di un Paese dell'Europa occidentale e le variabili che ne influenzano i valori sono riportate in figura 2.

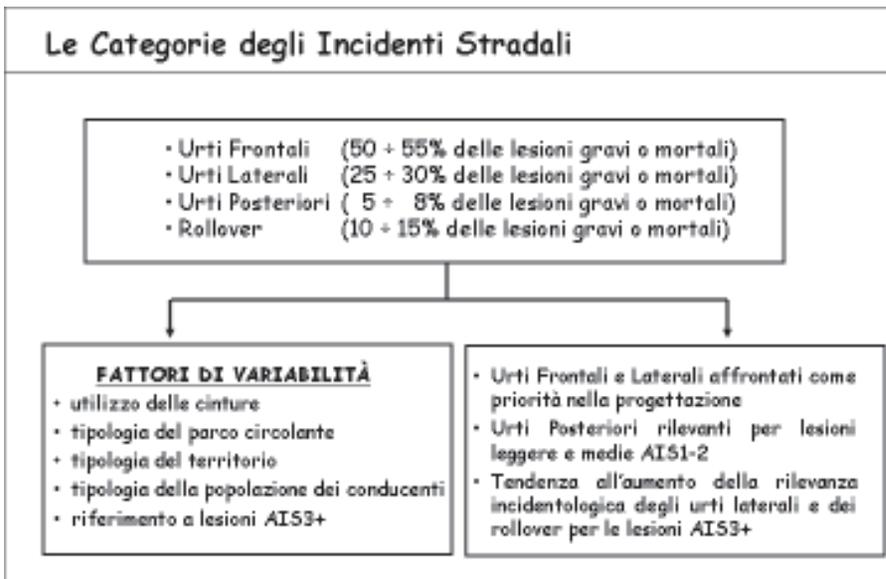


Figura 2

I dati presentati richiedono qualche commento specifico, in modo da inquadrare anche storicamente l'evoluzione dell'importanza relativa delle diverse tipologie d'urto.

Si sintetizzano nel seguito per punti i commenti più rilevanti:

- gli **urti frontali** continuano ad essere la configurazione potenzialmente più lesiva anche se in costante riduzione di importanza relativa. Una ventina di

anni fa la percentuale riportata sarebbe stata del 70-75% a causa del minore utilizzo delle cinture di sicurezza, della non presenza degli *airbag* nel parco circolante ed in generale della minore sofisticazione tecnica della progettazione dei veicoli dal punto di vista della sicurezza passiva in urto frontale. È possibile affermare che la riduzione di lesività dei veicoli in urto frontale sia stata in assoluto il più importante successo tecnico degli ultimi 20 anni nel campo della sicurezza passiva;

- gli urti laterali stanno assumendo una rilevanza sempre più importante per quanto concerne le cause di lesioni gravi e mortali. Una ventina di anni fa la percentuale di incidenza relativa sarebbe stata del 15-20%. Diverse sono le cause che concorrono a questa tendenza percentualmente negativa (anche se non negativa in assoluto, data la complessiva riduzione della lesività media del parco circolante). Da un lato l'aumento delle prestazioni di sicurezza passiva in urto frontale hanno spostato rilevanza sulle altre configurazioni d'impatto. D'altro canto pur essendo stato l'urto laterale la seconda più importante configurazione oggetto di studi, ricerche e miglioramenti tecnici, non si può disconoscere il fatto che a causa del meccanismo lesivo di contatto diretto con strutture intrudenti tipico di questi sinistri, l'efficacia delle misure di mitigazione delle lesioni è indubbiamente limitata.

Solo i notevoli sforzi posti dai legislatori e dai ricercatori sia nel campo dell'ottimizzazione strutturale che in quella dell'implementazione di nuovi componenti di sicurezza hanno permesso di evitare che questa percentuale si accrescesse in modo ancor più significativo;

- gli urti posteriori, contrariamente a quanto normalmente immaginato dalla pubblica opinione, rappresentano la configurazione d'impatto meno critica nei confronti delle lesioni AIS 3+.

La situazione cambia completamente qualora l'importanza relativa delle diverse configurazioni d'impatto venisse valutata considerando anche le lesioni di minore importanza tra le quali le lesioni alla rachide cervicale (solitamente dette lesioni da colpo di frusta);

- i *rollover* (o capottamenti) causano un 10-15% delle lesioni gravi o mortali in Europa occidentale. Come già commentato precedentemente la situazione si presenta diversa in USA dove la presenza di una percentuale ben superiore di SUV ed un utilizzo più limitato delle cinture di sicurezza rende questa configurazione d'impatto più rilevante. Vale la pena di sottolineare che le cinture di sicurezza giocano un ruolo chiave nella prevenzione delle lesioni in *rollover* grazie al fatto che impediscono l'eiezione degli occupanti al di fuori del veicolo.

1.3 Classificazione delle tematiche di sicurezza passiva

Non esiste una classificazione standardizzata ed universalmente accettata delle tematiche di sicurezza passiva.

I contributi disponibili in letteratura coprono solitamente solo alcuni aspetti della tematica generale e risentono evidentemente dell'esperienza specifica dell'autore.

Questo testo non fa evidentemente eccezione a questa regola e la classificazione nel seguito riportata deve essere considerata come quella che ad avviso dell'autore meglio permette di inquadrare le tematiche di interesse in modo congruo da parte di un pubblico principalmente interessato alle perizie incidentologiche.

Fatta questa doverosa premessa questo è lo schema delle tematiche che verrà assunto in questo testo:

- 1 sicurezza passiva in urto frontale,
- 2 sicurezza passiva in urto laterale,
- 3 sicurezza passiva in *rollover*,
- 4 sicurezza passiva in urto posteriore,
- 5 prove su componenti specifici finalizzate alla sicurezza passiva. Questi test su componenti sono ulteriormente distinguibili nelle seguenti famiglie:
 - prove sul sistema sterzo,
 - prove sugli interni della vettura,
 - prove su serrature e cerniere,
 - prove sul sistema carburante/serbatoio combustibile,
 - prove sulle cinture di sicurezza,
 - prove su sedili e appoggiatesta,
- 6 sicurezza degli utenti della strada non protetti ed in particolare dei pedoni,
- 7 sicurezza nel trasporto dei minori,
- 8 tematiche di sicurezza passiva relative al *layout* di meccanica delle vetture.

2 SICUREZZA PASSIVA IN URTO FRONTALE: LE PROBLEMATICHE DI RITENUTA

2.1 Quadro generale

Gli urti frontali rappresentano il 50-55% dei casi in cui si verificano lesioni gravi o mortali. Anche se questa percentuale è in riduzione grazie all'estensione dell'utilizzo delle cinture di sicurezza resta il fatto che gli urti frontali continuano a rappresentare una fonte molto significativa di lesioni.

È consuetudine definire **urti frontali** tutti quegli urti (veicolo contro ostacolo fisso o veicolo contro altro veicolo) nei quali la direzione principale delle forze scambiate è posta all'interno di un cono che si estende di 30° a destra e a sinistra rispetto alla direzione longitudinale anteriore e nei quali la struttura frontale è interessata dalle deformazioni (figura 3).

Urto Frontale / Definizione

L'insieme degli urti (contro ostacolo fisso o veicolo contro altro veicolo) nei quali la direzione principale delle forze scambiate è posta all'interno di un cono che si estende di 30° a destra ed a sinistra rispetto alla direzione longitudinale anteriore e nei quali la struttura frontale è interessata dalle deformazioni

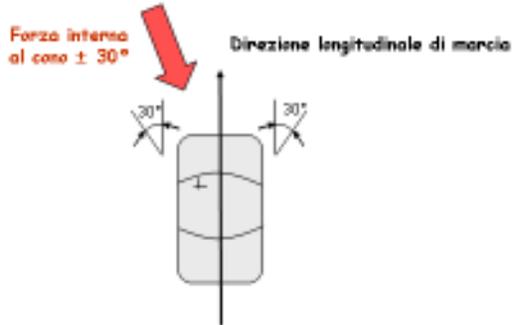


Figura 3

Al fine di ragionare e di fissare alcuni concetti fondamentali si farà riferimento ad un urto tipico alla velocità di 50 km/h contro barriera rigida perpendicolare che si estende per tutta la larghezza del veicolo (figura 4).

Urto di Riferimento per Ragionare:

Urto perfettamente perpendicolare contro barriera rigida con ricoprimento completo del frontale

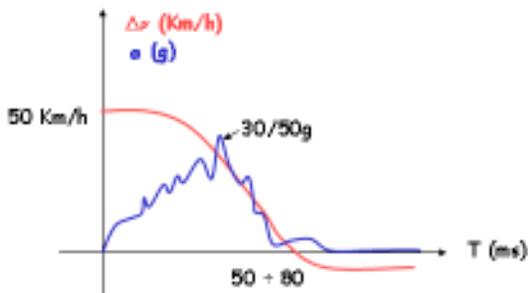


Figura 4

In un urto di questo tipo il diagramma di decelerazione si estende per circa 50-80 ms con punte di 30-50 g (dati dipendenti dalla tipologia del veicolo, dalla sua rigidità frontale e dalla sua motorizzazione).

È importante ricordare che l'urto contro barriera rigida perpendicolare che si estende per tutta la larghezza del veicolo è in assoluto la configurazione più impegnativa per i sistemi di ritenuta (cinture di sicurezza ed *airbag*) in quanto ingenera sul veicolo il massimo livello di decelerazione possibile relativamente al delta di velocità considerato.

Infatti in un urto contro barriera fissa e rigida ad intero ricoprimento del frontale tutta l'energia di deformazione deve essere assorbita dal veicolo e l'intera struttura frontale entra in gioco nella deformazione.

Al contrario questo tipo di impatto non è affatto il più severo per gli aspetti strutturali della deformazione (mantenimento degli spazi liberi di sopravvivenza).

È infatti evidente che il massimo di severità per l'integrità strutturale dell'abitacolo del veicolo, a parità di energia cinetica in gioco, si ha in configurazioni d'urto di tipo offsettato (con parziale ricoprimento del frontale da parte della barriera) oppure in urto contro pali.

È in tali condizioni infatti che solo parte della struttura frontale contribuisce alla deformazione scaricando più energia sull'abitacolo.

Quindi in un urto offsettato si hanno livelli maggiori di interessamento del vano abitacolo da parte delle deformazioni strutturali ma livelli inferiori di decelerazione.

Per il sistema di ritenuta, soprattutto influenzato dai livelli di decelerazione media, la configurazione di urto frontale contro barriera rigida è quindi la situazione più critica e difficile da gestire.

È evidente che se il passeggero potesse utilizzare in modo ottimale lo spazio libero di spostamento disponibile davanti a lui (senza entrare in interazione con alcuna parte interna dell'abitacolo), le decelerazioni a cui sarebbero sottoposte le diverse parti del corpo avrebbero picchi dell'ordine di 15-30 g, livello questo compatibile con lesioni del tutto sopportabili.

Questi valori di picco possono essere valutati come segue.

Il diagramma di decelerazione del veicolo corrisponde, in un urto frontale a 50 km/h contro barriera fissa, a livelli di deformazione dell'ordine di 50-70 cm.

Anteriormente al guidatore sono presenti altri 30-40 cm di spazio di movimento prima di entrare in collisione con il sistema volante/colonna sterzo.

Lo spazio di deformazione totale disponibile e quindi dell'ordine degli 80-110 cm.

Considerando tutti questi fenomeni e il moto complessivo dell'occupante (somma del moto rispetto al veicolo e del moto del veicolo rispetto al riferimento inerziale) si arriva a livelli di decelerazione dell'ordine di 15-30 g.

In sintesi l'obiettivo dei sistemi di ritenuta in urto frontale è esattamente quello appena descritto: vincolare il moto dell'occupante al moto del veicolo utilizzando al meglio gli spazi di deformazione disponibili, evitando urti rigidi contro l'interno dell'abitacolo e quindi limitando al massimo le decelerazioni, le forze e gli schiacciamenti che i diversi segmenti del corpo umano devono subire (figura 5).

Situazione Ideale di Riferimento

- guidatore in moto parzialmente solidale con il veicolo
(massimo anticipo della decelerazione)
- utilizzo ottimale dello spazio libero di spostamento davanti al guidatore



**ACCELERAZIONI SU TUTTI I SEGMENTI CORPOREI
CON PICCHI DI 15 + 30g, LIVELLI DEL TUTTO
COMPATIBILI CON LESIONI LEGGERE**

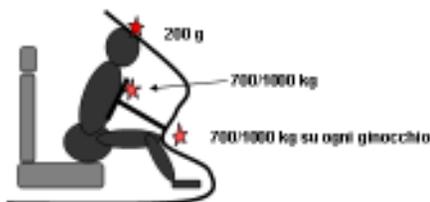
OBIETTIVO DEI SISTEMI DI RITENUTA IN URTO FRONTALE:

vincolare il moto dell'occupante al moto del veicolo utilizzando al meglio gli spazi di deformazione disponibili, evitando urti rigidi contro l'interno dell'abitacolo e quindi limitando al minimo le decelerazioni, le forze e gli schiacciamenti che i diversi segmenti del corpo umano devono subire.

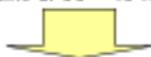
Figura 5

Sempre riferendoci al caso tipico di un urto frontale a 50 km/h contro barriera rigida si descrive innanzitutto in modo sintetico cosa accade tipicamente ad un guidatore non cinturato (figura 6).

La Cinematica del Guidatore non Cinturato



- fase iniziale (15 + 20): moto inerziale in avanti non rallentato
- 20 + 25 ms: urto del torace/addome contro la corona del volante e delle ginocchia contro la parte bassa della plancia
- 50 + 60 ms: importante rotazione in avanti del busto con moto della testa contro il parabrezza
- 80 + 100 ms: la testa batte violentemente contro l'area centrale/superiore del parabrezza a velocità dell'ordine di 30 + 40 Km/h



LESIONI GRAVISSIME, SPESSO MORTALI

Figura 6

Si noti che i valori riportati devono essere considerati come puri ordini di grandezza in quanto dipendenti anche da condizioni specifiche che variano da veicolo a veicolo:

- durante la **prima parte dell'urto** (15-20 ms) il guidatore si muove in avanti in moto inerziale. La tenuta delle braccia sul volante **non** è in grado di modificare in modo sensibile la cinematica di avanzamento. Vale la pena di dare qualche ordine di grandezza alle forze che si scaricano sul volante. Il diagramma di decelerazione di figura 2 indica chiaramente che nei primi 20-30 ms dell'impatto si raggiungono livelli dell'ordine di 20 g. Poiché la parte superiore del corpo (testa/collo/torace) che spinge sulle braccia rappresenta una massa mediamente dell'ordine di 35-40 kg la forza che si scarica sulle braccia raggiunge 700-800 kg, assolutamente non sostenibile da parte di un guidatore. Appare quindi evidente che le braccia cedono sotto sforzo non contribuendo al rallentamento del conducente in alcun modo significativo;
- dopo questo lasso di tempo il conducente inizia ad urtare con la parte bassa del torace contro la corona del volante e con le ginocchia contro la parte bassa della plancia;
- in questi urti vengono scambiate forze molto significative, con picchi di 700-1.000 kg sia sul torace che su ognuna delle ginocchia. Si noti che durante questi impatti la continua decelerazione del veicolo contribuisce in modo significativo ad incrementare l'energia scambiata. Si noti inoltre che questi livelli di forza/decelerazione sono sufficienti a causare lesioni rilevanti, potenzialmente mortali per quanto concerne l'area toracica e danni sicuramente fortemente invalidanti per quanto concerne invece gli arti inferiori;
- **intorno ai 50-60 ms** il corpo del guidatore inizia a presentare importanti componenti di rotazione della testa e del torace in direzione del parabrezza provocate dalle forze su ginocchia e torace. A causa di questa rotazione la testa stessa raggiunge l'area centrale/superiore del parabrezza verso gli 80-100 ms a velocità dell'ordine di 30-40 km/h;
- quest'ultimo impatto della testa contro il parabrezza è di solito il più devastante dal punto di vista delle lesioni. Vengono scambiate accelerazioni dell'ordine di 200 g con danni cerebrali spesso irreversibili. Se si calcolano i livelli di HIC (criterio di lesione della testa) corrispondenti a queste decelerazioni si giunge a valori dell'ordine di 3.000-4.000, ben superiori al livello di 1.000 considerato come limite per evitare lesioni gravi o mortali. Si noti inoltre che al di là degli effetti puramente di decelerazione sul cranio, un'interazione tra la testa del guidatore ed il parabrezza ha conseguenze devastanti anche a livello facciale. È infatti noto in letteratura che le persone che sopravvivono a questo tipo di meccanismo lesivo hanno comunque un'altissima probabilità di essere oggetto di lesioni permanenti al viso profondamente invalidanti anche dal punto di vista estetico.

Rispetto a questo quadro di riferimento si analizzano nel seguito quali sono le problematiche da superare in modo da poter inquadrare al meglio i diversi componenti del sistema di ritenuta che sono stati sviluppati negli ultimi 40 anni.

2.2 Le problematiche di ritenuta in urto frontale

Dal quadro fatto precedentemente appare chiaro che vi sono diverse "modalità" per ridurre la pericolosità dei fenomeni descritti.

Queste modalità possono essere così sintetizzate:

- è necessario **rallentare l'occupante** il prima possibile **nel suo moto inerziale verso l'avanti**. Tale obiettivo è raggiungibile solo se l'occupante stesso viene precocemente "accoppiato" al moto di decelerazione del veicolo. Questo fenomeno fisico è fondamentale ed è in realtà molto più rilevante di quanto non possa sembrare ad un'analisi superficiale. Il guidatore all'inizio dell'urto ha un'energia cinetica pari al peso corporeo moltiplicato per la velocità iniziale del veicolo. Il guidatore stesso, nei primi istanti dell'impatto, si sposta con velocità pari alla velocità iniziale del veicolo (nel caso oggetto della trattazione 50 km/h) e quindi compie uno spostamento in avanti rispetto al sistema di riferimento fisso inerziale molto rilevante nell'unità di tempo. Un sistema di ritenuta che riesca a "vincolare" in modo precoce l'occupante al veicolo già all'inizio del sinistro è in grado di trasmettere immediatamente al guidatore importanti livelli di forza attraverso la cintura di sicurezza. Poiché l'energia assorbita che viene sottratta all'energia cinetica del guidatore è pari ai livelli di forza trasmessa moltiplicati per gli spostamenti appare chiaro che una forza applicata precocemente ha un effetto relevantissimo nel sottrarre immediatamente energia cinetica all'occupante in quanto lavora su spostamenti più significativi rispetto al sistema di riferimento inerziale;
- è necessario **utilizzare al meglio lo spazio interno disponibile davanti all'occupante** in corrispondenza a tutti i suoi segmenti corporei (testa, collo, torace, addome, bacino, arti inferiori). Tale affermazione va interpretata nel senso che lo spazio di avanzamento disponibile deve essere interamente utilizzato in corrispondenza di una configurazione di riferimento giudicata sufficientemente severa annullando l'energia di contatto tra l'occupante stesso e le parti rigide all'interno del veicolo;
- poiché i livelli di lesione sono anche proporzionali ai livelli di forza trasmessi all'occupante durante l'urto è importante che **la forza stessa sia il più possibile costante**. Un aspetto fondamentale è anche come la forza viene trasmessa ai segmenti corporei (estensione dell'area di pressione). Questo sarà oggetto di approfondimento nel seguito in sede di descrizione dell'evoluzione dei sistemi di ritenuta;
- nel caso che i contatti tra i segmenti corporei degli occupanti e le parti rigide all'interno del veicolo non possano essere evitati, bisogna comunque **garantire che gli interni del veicolo** presentino una **loro capacità intrinseca di assorbimento di energia**.

Quest'ultimo punto implica tutta una serie di raccomandazioni legislative che riguardano alcuni componenti dell'interno del veicolo (es. volante, plancia, ecc.) che ne possano garantire livelli minimi di assorbimento di energia.

Con riferimento alle modalità precedentemente descritte per limitare le lesioni in urto frontale verranno ora analizzati i principali componenti del sistema di ritenuta che sono stati introdotti rispettando la sequenza temporale dello

sviluppo storico. Particolare importanza deve essere data al fatto che tali componenti rappresentano stadi successivi di sofisticazione con i quali si è voluto avviare ai limiti del sistema di ritenuta "base" per l'urto frontale, costituito dalle cinture di sicurezza a tre punti.

2.3 L'evoluzione storica dei sistemi di ritenuta in urto frontale

Si analizzano quindi nel seguito gli step successivi con cui si è evoluto nel tempo il sistema di ritenuta per gli urti frontali:

- **step 1: cinture di sicurezza a tre punti** (figura 7). Per semplicità si deve qui omettere ogni considerazione relativa alle cinture di tipo statico (senza arrotolatore) e alle cinture a due punti che pure hanno preceduto, anche per i posti a sedere frontali, le attuali cinture di sicurezza a tre punti con arrotolatore. Vale la pena però di ricordare che i primi sistemi di ritenuta basati su cinture di sicurezza risalgono alla prima metà degli anni 50.

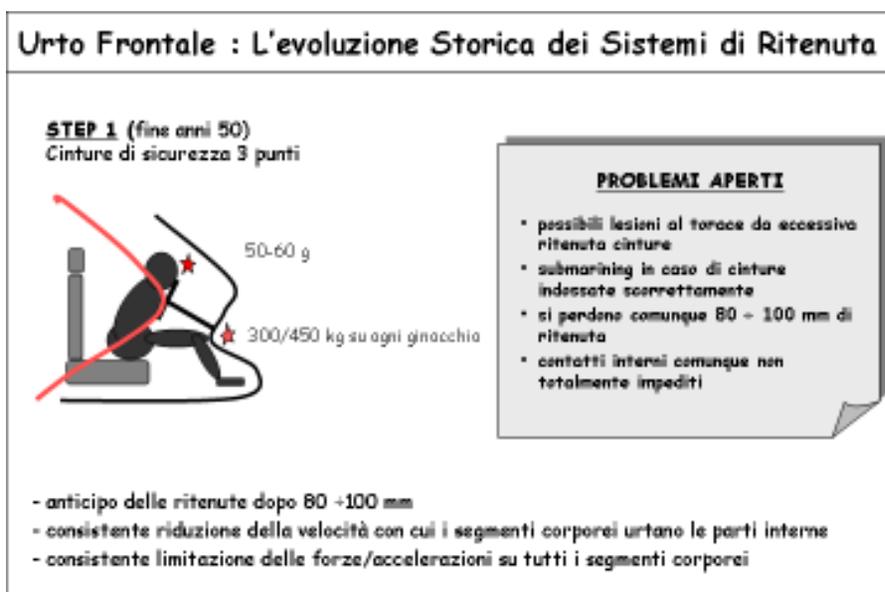


Figura 7

Le cinture di sicurezza a tre punti dotate di arrotolatore sono la base indispensabile del sistema di ritenuta in urto frontale e rispetto al quadro di riferimento relativo al guidatore non cinturato precedentemente descritto producono le seguenti modificazioni:

- il corpo del guidatore viene vincolato al veicolo già nei primi millisecondi dell'urto, anche se l'azione di ritenuta non viene completamente espressa prima di spostamenti in avanti del torace/bacino dell'ordine di 80-100 mm a causa dello "slack" tra la cintura stessa e le parti ossee dello scheletro (effetto dovuto a vestiti, limitata tensione della cintura per motivi di confort)

ecc.) abbinato alla strizione del nastro ed ad altri giochi meccanici propri dell'arrotolatore;

- questa limitazione del moto del guidatore (pur condizionata dallo "slack" descritto precedentemente) si traduce in una consistente riduzione della velocità con cui le ginocchia urtano contro la parte bassa della plancia e in una modifica sostanziale del moto del torace che tende a ruotare con una traiettoria a pendolo intorno al bacino. Nell'urto di riferimento a 50 km/h l'urto del torace può essere completamente evitato se il guidatore assume una posizione di guida sufficientemente lontana dal volante mentre gli urti delle ginocchia avvengono con forze scambiate dell'ordine del 40-45% rispetto ai valori presentati in precedenza (300/450 kg);
- il moto della testa e del collo viene modificato in modo drastico. Il torace, trattenuto dalla cintura di sicurezza, impone alla testa un moto di tipo curvilineo solitamente nella direzione del centro dello sterzo. La testa non andrà più a colpire il parabrezza ma entrerà in interazione con il volante. I picchi di accelerazione vengono ridotti in modo drastico a valori dell'ordine di 50-60 g con una limitazione sostanziale degli effetti lesivi.

Da questo quadro appare chiaro che le cinture di sicurezza giocano un ruolo **chiave** nella limitazione delle lesioni a tutti i segmenti corporei. Per quanto riguarda la testa la riduzione del rischio lesivo è drastica, per il torace limitata ma molto significativa, per gli arti inferiori limitata seppur significativa.

Sempre riferendosi all'urto frontale contro barriera rigida a 50 km/h **le conseguenze gravissime e probabilmente letali** per un guidatore non cinturato **si trasformano in un panorama lesivo importante** nel caso del guidatore cinturato **ma non letale**.

Si descrivono ora i **limiti delle cinture di sicurezza** come sistema di ritenuta per l'**urto frontale**.

Questo quadro permetterà di capire meglio le evoluzioni successive:

- le cinture di sicurezza "classiche" possono provocare lesioni specifiche quali ecchimosi alla pelle (poco rilevanti in termini di severità) o rotture ossee a livello di clavicola/costole. Questi effetti sono causati dalle importanti forze scambiate tra il torace e il nastro della cintura su di un'area relativamente limitata. Vale la pena di sviluppare ulteriormente questo punto anche in relazione ad alcune conseguenze importanti in sede di analisi incidentologica. La cintura di sicurezza trasmette la forza al torace attraverso un'area di scambio limitata dalla larghezza del nastro (alcuni centimetri) e dalla lunghezza dei tratti di cintura che effettivamente trasmettono l'impulso longitudinale (alcune decine di centimetri). Inoltre all'interno di questa area di scambio delle forze alcune zone risultano più efficaci di altre a trasmettere la componente longitudinale dello sforzo per cui la sollecitazione in termini di kg/cm² presenta localmente valori molto significativi. Questi "picchi" di compressione avvengono soprattutto a livello di costole e della clavicola che pertanto risultano soggetti a forti sollecitazioni e potenzialmente a lesioni importanti. Queste rotture ossee sono comunque probabili solo a partire da delta di velocità dell'ordine di 35-40 km/h e non

- riguardano urti a velocità medio-basse (a meno di soggetti specifici quali anziani con problematiche di osteoporosi). Lo stesso fenomeno di pressione locale tra cinture e zone specifiche del torace è alla base delle ecchimosi alla pelle, spesso riscontrabili sul torace di passeggeri soggetti ad urti frontali. Le ecchimosi sono un importante "testimone" dell'effettivo utilizzo delle cinture di sicurezza stesse ed iniziano a presentarsi a livelli di severità d'urto molto più limitate di quanto detto in precedenza per i danni ossei;
- nel caso in cui le cinture di sicurezza vengano indossate in modo scorretto, cioè troppo alte rispetto al bacino, queste possono "saltare" durante la ritenuta al di sopra delle creste iliache provocando danni a livello addominale (il cosiddetto effetto *submarining*);
 - le cinture di sicurezza classiche non agiscono in modo repentino nel trattenere l'occupante ed uno spazio libero di ritenuta di 80-100 mm viene comunque sprecato all'inizio dell'urto;
 - infine la cintura di sicurezza classica a tre punti, pur limitando in modo drastico gli effetti dei contatti rigidi con l'interno dell'abitacolo, non può comunque impedirli e quindi non può da sola ottenere le condizioni ottimali di ritenuta;
- **step 2: pretensionatore** (figura 8): componente del sistema di ritenuta in urto frontale destinato ad avviare almeno in parte ai limiti della cintura di sicurezza a tre punti dotata di arrotolatore. È stato montato sui veicoli a partire dalla fine degli anni 80.

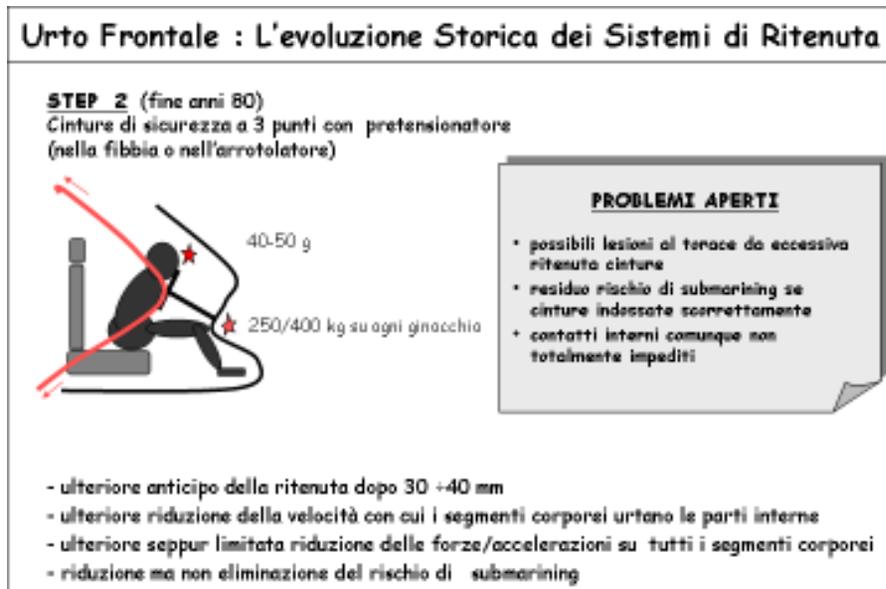


Figura 8

Esistono sostanzialmente due tipi di pretensionatore:

- montato nell'arrotolatore (richiama il nastro all'interno del montante B),
- montato sulla fibbia della cintura (abbassa la fibbia facendo aderire meglio la cintura stessa al corpo dell'occupante, tendendola al tempo stesso).

Vi è stato un lungo dibattito in letteratura su quale di questi due sistemi sia il migliore.

Entrambe le tipologie hanno vantaggi e svantaggi.

In particolare i **pretensionatori negli arrotolatori** hanno il vantaggio di poter riavvolgere una maggiore quantità di nastro. Presentano però lo svantaggio di tendere direttamente il ramo dorsale e solo indirettamente il ramo addominale contribuendo in modo meno efficace alla prevenzione del *submarining*.

Al contrario i **pretensionatori nelle fibbie** hanno il vantaggio di tendere contemporaneamente il ramo dorsale e il ramo addominale offrendo una configurazione ottimale per la prevenzione del *submarining*. Lo svantaggio di questa soluzione tecnica è la limitata possibilità di movimento della fibbia, anche al fine di evitare che la fibbia stessa si trovi in posizione difficilmente raggiungibile a fine incidente con possibili conseguenze negative per la possibilità di sganciamento e quindi di evacuazione del veicolo da parte degli utenti.

Si noti che recentemente sono apparse **soluzioni con un doppio pretensionatore a livello di fibbia e di terzo attacco basso al sedile**. Questa soluzione, pur complessa tecnicamente, tende comunque ad ottimizzare il sistema complessivo di pretensionamento fornendo una geometria ottimale, buoni livelli di pretensionamento ed al contempo una posizione finale della fibbia non troppo dissimile da quella presente prima dell'attivazione del pretensionatore.

Entrambe le tipologie di pretensionatore svolgono comunque un ruolo che si esplica:

- anticipando la ritenuta dell'occupante attraverso una più rapida adesione del nastro al corpo. Sempre con riferimento all'urto a 50 km/h si può dire che il pretensionatore può "salvare" circa la metà dello spazio di ritenuta perso all'inizio dell'impatto da una cintura di sicurezza classica. Questo provoca una riduzione, seppur limitata, dell'energia d'urto contro le parti rigide interne del veicolo (testa e ginocchia);
- limitando il rischio di *submarining* e quindi facilitando il contatto della parte addominale del nastro con le creste iliache;
- allungando il tempo durante il quale la cintura svolge il suo ruolo di ritenuta e quindi abbassando i picchi massimi di forza trasmessi. Si ricorda quanto detto in precedenza e cioè che i primi istanti del sinistro sono i più importanti in quanto l'occupante viaggia alla massima velocità relativamente al sistema di riferimento fisso a terra e quindi una forza trasmessa precocemente fornisce il massimo assorbimento di energia.

Pur essendo un componente di sicurezza rilevante e pur alleviando alcuni dei difetti tipici delle cinture di sicurezza classiche, il pretensionatore non è in grado di "rivoluzionare" la cinematica di ritenuta ed in particolare non è comunque in grado di gestire al meglio lo spazio disponibile davanti al guidatore evitando urti contro parti rigide interne del veicolo;

- **step 3: airbag frontali** (figura 9): hanno rappresentato una vera "rivoluzione" nel campo della ritenuta in urto frontale in quanto hanno drasticamente modificato il modo in cui viene gestita l'energia e lo spazio di deformazione. Questi componenti hanno cominciato a comparire in modo sistematico sui veicoli a partire dall'inizio degli anni 80 anche se le prime installazioni pilota in numero limitatissimo risalgono, negli USA, al 1973.

Urto Frontale : L'evoluzione Storica dei Sistemi di Ritenuta

STEP 3 (air bags a partire dalla metà degli anni 80)
Cinture/pre-tensionatori ed air bags



250/400 kg su ogni ginocchia

PROBLEMI APERTI

- non del tutto eliminata la potenziale lesività al torace delle cinture di sicurezza
- residue rischi di submarining se cinture indossate scorrettamente
- lesioni da out of position
- lesioni agli arti inferiori equivalenti a step 2

- il bag si abbina con la cintura di sicurezza nel trattenere da subito l'occupante garantendo al meglio lo spazio libero di deformazione
- l'air bag come assorbitore di energia "efficiente". Questo riduce i livelli di forza sul torace
- l'air bag trasmette forza attraverso una superficie più ampia limitando decelerazioni e schiacciamenti localizzati
- l'air bag è estremamente efficace nel limitare gli urti interni contro parti rigide fino a velocità notevoli

Figura 9

Queste sono le **principali caratteristiche della ritenuta in urto frontale** in presenza di **airbag guidatore**:

- il *bag* guidatore, gonfiato prima che avvengano movimenti importanti dell'occupante in avanti, si abbina alla cintura di sicurezza nell'esplicitare una precoce trattenuta e nel gestire al meglio lo spazio libero di deformazione;
- rispetto alla cintura di sicurezza l'*airbag* è un componente di assorbimento di energia più efficiente in quanto trasmette forze di tipo più costante (comportamento "plastico") e non di andamento lineare prevalentemente elastico. Ottiene quindi l'effetto di trattenere l'occupante in modo più efficiente e con picchi di forza complessivamente minori;
- il *bag* trasmette forza al sistema torace/testa dell'occupante attraverso una superficie più estesa, limitando decelerazioni e schiacciamenti localizzati;
- il *bag* si estende fino alle parti rigide del veicolo (volante/plancia) e grazie alla sua efficienza come assorbitore di energia, può essere tarato per impedire completamente l'urto di torace/testa contro parti rigide interne al veicolo fino a velocità molto considerevoli (dell'ordine di 58-60 km/h contro barriera rigida a completo ricoprimento).

Da questa breve descrizione è possibile dedurre che il *bag* ha costituito, dopo la cintura di sicurezza, l'avanzamento tecnico più significativo per una ottimale ritenuta degli occupanti in urto frontale. È però necessario sottolineare con forza che si tratta comunque di un **sistema di ritenuta supplementare**, che deve sempre abbinarsi all'utilizzo delle cinture di sicurezza.

È bene ricordare che esiste una differenza fondamentale tra i sistemi di ritenuta USA e quelli di tutti gli altri Paesi (Europa, Giappone ed altre aree geografiche).

Infatti gli USA sono l'unico Paese al mondo che impone la presenza nei veicoli di sistemi di ritenuta passivi, tali cioè da consentire la ritenuta anche degli occupanti non cinturati.

Questo fatto ha avuto un importante effetto sulla storia dello sviluppo degli *airbag* che è bene riportare sinteticamente.

Quando lo sviluppo tecnologico ha iniziato a consentire l'apparizione degli *airbag* sul mercato, all'inizio degli anni 80, il primo obiettivo dei tecnici era il soddisfacimento della normativa USA Std. 208 che prevedeva anche la protezione degli occupanti non cinturati in urti frontali a 50 km/h contro barriera fissa all'interno di un cono anteriore compreso tra -30° e +30°.

La trattenuta del guidatore e del passeggero anteriore non cinturati in una condizione di impatto così severa impose lo sviluppo di *airbag* con volumi molto significativi (60-80 litri per il guidatore e 150-200 litri per il passeggero anteriore) e quindi equipaggiati di generatori di gas in grado di fornire una notevole energia di gonfiaggio.

Il mercato americano si sviluppò quindi per una decina d'anni in questa direzione con letteralmente milioni e milioni di veicoli equipaggiati con questa tipologia di *airbag* solitamente detta "*full size*".

Contemporaneamente anche in Europa cominciarono ad apparire vetture dotate di *airbag*.

Per le vetture contemporaneamente esportate negli USA la soluzione tecnica risultava corrispondente a quella precedentemente definita come "*full size*". Per le vetture di sola commercializzazione europea al contrario, cominciarono ad apparire *airbag* di dimensione ed energia più ridotte (30-40 litri per il guidatore e 60-90 litri per il passeggero anteriore) detti "*euobag*" e destinati esclusivamente a coadiuvare le cinture di sicurezza nella loro azione di trattenimento. È quindi possibile affermare che alla fine degli anni 80/inizio degli anni 90 anche nel campo degli *airbag* le soluzioni tecniche americane ed europee si presentavano come sostanzialmente diverse.

Due fattori principali hanno contribuito a ridurre rapidamente questo *gap* ed a fare in modo che le soluzioni progettuali relative agli *airbag* frontali si presentino oggi sostanzialmente omogenee a livello mondiale per quanto concerne il volume e le energie dei generatori di gas.

Da un lato negli USA l'utilizzo su campo degli *airbag* dimostrò che le soluzioni "*full size*" presentavano importanti controindicazioni in caso di attivazione del sistema *airbag* con guidatore o passeggero anteriore in condizione di "*out of position*".

Il termine "*out of position*" indica letteralmente il fatto che l'utente non sia in una posizione ottimale nel momento in cui il *bag* viene gonfiato. Esempi di *out of position* sono:

- guidatore posizionato troppo vicino al volante (problema soprattutto serio per le donne di bassa statura),
- guidatore con braccia incrociate al momento dell'attivazione del *bag*,
- passeggero non cinturato che si muove in modo significativo in direzione della plancia prima dell'attivazione del *bag* passeggero,
- sedile bambino montato contromano su sedile anteriore in presenza di un *airbag* passeggero attivo,
- bambini che viaggiano sul sedile anteriore non cinturati e che vengono proiettati contro la plancia nelle fasi del *pre-crash*.

Alcune di queste situazioni sono evitabili attraverso un'adeguata educazione degli utenti (es. evitare di montare sedili bambino contromano sul sedile anteriore in presenza di un *airbag* passeggero attivo) ma alcune sono insite nel fatto che gli utenti non siano cinturati e dipendono dalla situazione specifica di *pre-crash* (soprattutto intensità e durata della frenata).

Apparve subito chiaro ai legislatori USA che si imponeva una riduzione dell'energia degli *airbag* in modo da trovare un miglior compromesso tra l'esigenza di proteggere anche i guidatori ed i passeggeri anteriori non cinturati e quella di evitare danni da attivazione del *bag* stesso in casi di "*out of position*". Tutto questo ha portato ad una riduzione delle *performance* richieste al sistema *airbag* USA per i passeggeri non cinturati con la definizione di un impatto meno severo del test di riferimento contro barriera a 50 km/h che pur mantenendo sostanzialmente gli stessi livelli di delta di velocità imponesse minori livelli medi di decelerazione.

Questa evoluzione della normativa USA (detta "*depowering*") è ormai in vigore da circa 10 anni ed è stato un passo importante e positivo nell'ottimizzare i sistemi di ritenuta passivi negli USA.

I dati da campo, ormai ampiamente disponibili, dimostrano che le lesioni da "*out of position*" sul mercato USA si sono ridotte in modo significativo (anche grazie ad importanti campagne di sensibilizzazione dell'opinione pubblica soprattutto per quanto concerne il trasporto dei bambini).

Contemporaneamente in Europa il volume dei sacchi e la loro energia ha cominciato ad aumentare al fine di migliorare/ottimizzare le prestazioni per utenti cinturati a velocità di impatto sempre più elevate. A questo aumento del volume/energia dei *bag* europei ha contribuito anche l'affermazione dei limitatori di carico delle cinture di sicurezza che verranno descritti nel seguito. Il risultato di questo sviluppo parallelo e convergente è che oggi i volumi/energie dei sacchi si sono sostanzialmente uniformate (50-60 litri per il guidatore, 90-120 litri per il passeggero anteriore) e questo compromesso (identificato anche grazie all'esperienza pratica) sembra essere vicino all'ottimale per questi complessi componenti di sicurezza.

Si è quindi arrivati a descrivere il sistema di ritenuta formato da pretensionatore, cintura di sicurezza a tre punti con arrotolatore e *airbag*. Anche questo

sistema, che era lo "stato dell'arte" negli anni 90, presenta delle limitazioni che possono essere così sintetizzate:

- la presenza dell'*airbag* rende eccessivamente vincolante il ramo dorsale della cintura di sicurezza che, come abbiamo visto, può causare a sua volta lesioni alle costole e alla clavicola. Pur limitando parzialmente questo effetto, la sola presenza dell'*airbag*/pretensionatore non è in grado di ridurlo in modo sufficientemente efficace;
 - gli *airbag* stessi possono causare delle lesioni di limitata entità, soprattutto agli arti superiori ed al viso. Queste lesioni, del tutto accettabili in considerazione dei danni che a loro volta evitano (ben più significativi), possono essere al contrario importanti in alcune situazioni specifiche (occupanti in *out of position* come già spiegato precedentemente);
 - le lesioni agli arti inferiori non sono state sostanzialmente ridotte rispetto alla configurazione di cintura a tre punti con arrotolatore e pretensionatore;
- **step 4: limitatori di carico delle cinture di sicurezza** (figura 10): sono delle **modifiche tecniche degli arrotolatori** (ad es. abbinando una barra di torsione) che limitano la forza di trazione sul ramo dorsale delle cinture a 400-500 kg all'arrotolatore. Questi componenti hanno iniziato ad apparire in applicazioni su veicoli all'inizio degli anni 90.

Questa ulteriore evoluzione permette di limitare in modo drastico le lesioni al torace/clavicola dovute al ramo dorsale delle cinture di sicurezza e quindi rispondono ad una delle problematiche presentate precedentemente.

Molte vetture oggi commercializzate (ma non tutte) ne sono provviste per i posti frontali.

Urto Frontale : L'evoluzione Storica dei Sistemi di Ritenuta

STEP 4 (inizio anni 90)
Cinture/ pretensionatori/ limitatori di carico delle cinture /air bags



PROBLEMI APERTI

- lesioni da *out of position*
- residue rischi di submarining se cinture indossate scorrettamente
- lesioni agli arti inferiori equivalenti a Step 2

• I limitatori di carico limitano la forza di trazione sul ramo dorsale delle cinture a 400/500kg

• Questo riduce in modo drastico le lesioni al torace da cintura e fa lavorare in modo ottimale cinture ed air bags

Figura 10

I limitatori di carico sono nati sulla base delle analisi incidentologiche.

Con la disponibilità di dati da campo relativi a situazioni di urto frontale con cinture ed arbags è apparso chiaro che effettivamente la problematica delle lesioni ossee al torace (non più inevitabili grazie alla presenza dell'airbag) si presentava come molto significativa.

Si è trattato di uno sviluppo più complesso di quanto possa apparire ad un'analisi superficiale sia per quanto concerne la definizione delle soluzioni tecniche specifiche che per la corretta identificazione dei livelli di forza da implementare. È chiaro infatti che la riduzione dei picchi di forza trasmessi dalle cinture di sicurezza presenta enormi vantaggi nel ridurre le lesioni ossee al torace (trasferendo parte del compito di trattenere l'occupante al *bag* che è più efficace sia in termini di tipologia plastica di ritenuta che per la superficie maggiore di scambio delle forze) ma deve essere valutata con attenzione in quanto aumenta la probabilità di contatto contro parti rigide dell'abitacolo in urti a velocità superiori.

Si tratta quindi di un problema di ottimizzazione delle prestazioni complessive che ha coinvolto sia l'analisi incidentologica che la ricerca nel campo biomeccanico.

I risultati finali possono essere così sintetizzati:

- sulla base degli studi di biomeccanica si è potuto stabilire che la limitazione della forza all'arrotolatore entro i 400-500 kg riduceva in modo significativo le lesioni al torace per la maggioranza dell'utenza. Evidentemente esistono situazioni limite (persone molto anziane con problemi di osteoporosi) per le quali anche livelli di forza così ridotti non possono evitare conseguenze in termini di lesioni ossee ma si tratta comunque di casi limitati;
- realizzando la limitazione del carico attraverso un rocchetto dell'arrotolatore dotato di un asse in grado di deformare a torsione in modo plastico si è verificata la possibilità tecnica di "tagliare" la forza in modo efficace con una ritenuta a sollecitazione sostanzialmente costante;
- in queste condizioni la quota di energia assorbita trasferita dalla cintura al *bag* risultava accettabile anche considerando l'incremento del volume dei sacchi che nel frattempo andava delineandosi sul mercato europeo (sviluppo già commentato precedentemente);
- l'anticipo del potenziale contatto con la parte rigida del volante ad alta velocità risultava ampiamente compensato dalla riduzione delle lesioni gravi o mortali a velocità più limitate anche grazie al tipico andamento della probabilità degli impatti alle diverse velocità che tende a decrescere in modo molto significativo con l'aumento dell'energia in gioco.

Complessivamente è apparso chiaro che l'aggiunta del limitatore di carico si presentava come decisamente migliorativa per le prestazioni di ritenuta. Questo è stato il motivo del rapido affermarsi di questo ulteriore componente di sicurezza all'interno del sistema cinture;

- **step 5: airbag a doppio stadio o doppio livello di energia di attivazione** (figura 11). Stanno cominciando ad apparire da qualche anno i cosiddetti "*airbag intelligenti*", destinati a rispondere alla problematica delle lesioni

causate dai *bag* stessi.

Questa tematica verrà ripresa quando si parlerà della sensoristica specifica per i sistemi di ritenuta in urto frontale.

Anche qui vale la pena di approfondire in modo opportuno questa problematica in modo da capire appieno le logiche che sono alla base degli sviluppi tecnici.

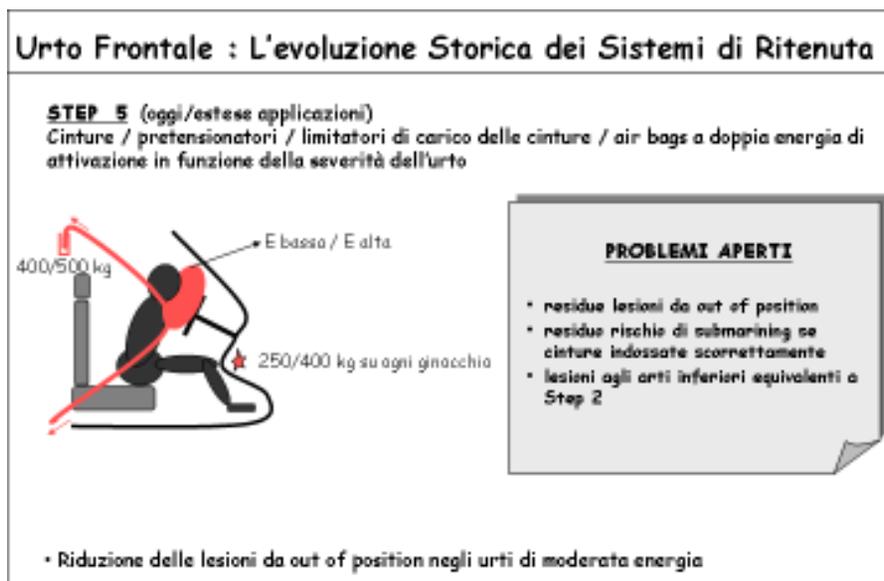


Figura 11

Come **regola generale** è possibile affermare che il *bag* frontale (sia esso guidatore o passeggero) deve sicuramente garantire la massima energia di attivazione in presenza della concomitanza di queste situazioni:

- urti severi,
- occupanti in posizione sufficientemente distante dal *bag* da evitare interazioni con il *bag* stesso in fase di gonfiaggio,
- assenza di situazioni "speciali" quali sedili bambino montati contromano sui sedili anteriori,
- occupanti di corporatura medio-robusta.

La situazione ottimale sarebbe quella di un *bag* in grado di regolare in diminuzione la propria energia di attivazione in funzione della "lontananza" della situazione specifica da questa situazione ideale.

È bene subito ricordare che la riduzione dell'energia di attivazione e quindi del generatore di gas non è tecnicamente così semplice.

Infatti il *bag* si deve attivare in un *range* di temperature molto ampio (solitamente tra -35 e +80 gradi) e non deve presentare tempi di gonfiaggio troppo elevati.

Purtroppo una riduzione dell'energia dei generatori di gas non adeguata-

mente controllata porta potenzialmente sia a problematiche legate alla corretta apertura del *cover* (coperchio) del *bag* sia a rallentamenti inaccettabili nei tempi di gonfiaggio.

È quindi innanzitutto evidente che è possibile, in situazioni speciali, evitare completamente l'apertura del *bag* e quindi le lesioni indotte (es. in presenza di sedili bambini montati contromano) ma qualora si decida di attivare comunque il *bag* questo deve avvenire ad un'energia minima che deve tener conto delle problematiche precedentemente citate con un limite al "*range*" massimo di variazione dell'energia stessa.

Una **seconda considerazione** è quella che pur potendosi immaginare una variabilità "continua" dell'energia in funzione delle variabili specifiche precedentemente citate e relative alla severità dell'urto ed alla condizione degli occupanti è altrettanto chiaro che esiste un limite intrinseco nella precisione dei dati di *input* (argomento che verrà approfondito in sede di descrizione della sensoristica) e quindi una definizione a due stati di energia (alto/basso) è già un passo avanti notevole per ridurre la lesività da *out of position*.

Infine va accennato il fatto che tutte le informazioni relative allo stato interno degli occupanti richiedono una sensoristica aggiuntiva piuttosto complessa mentre l'analisi della severità dell'impatto da parte della centralina stessa del *bag* è relativamente semplice ed immediata.

Per questo i sistemi che si sono fino ad oggi affermati (almeno in Europa) sono sostanzialmente basati su due livelli di attivazione in funzione della severità dell'urto.

Vale la pena di commentare ulteriormente la correttezza e l'efficacia di questo approccio.

Gli urti frontali presentano una distribuzione statistica tipica con un forte addensamento nelle severità minori. Poiché un sistema *airbag* tarato per situazioni europee (si vedano commenti nel seguito) si attiva con certezza a partire da un delta di velocità (abbinato ad adeguate decelerazioni medie) dell'ordine dei 28 km/h, gli urti di interesse per gli *airbag* frontali sono quelli che avvengono al di sopra di tale velocità.

In prima approssimazione gli urti frontali compresi in un delta di velocità tra 28 km/h e 40 km/h rappresentano circa l'80% di tutti gli urti sopra 28 km/h mentre gli urti con delta di velocità superiore a 40 km/h sono solo il 20%. È quindi immediatamente evidente che con una sensoristica in grado di discriminare in modo sufficientemente rapido ed affidabile il solo delta di velocità è possibile "depotenziare" l'attivazione del *bag* in un numero molto consistente di casi.

Questo è esattamente quello che è avvenuto, soprattutto per le vetture progettate per il solo mercato europeo.

La situazione in USA è più complessa per gli specifici sviluppi normativi (Std. USA 208 e specifiche prove statiche di *out of position* ivi descritte).

Per il momento basti dire che i **sistemi apparsi finora in Europa** sono sostanzialmente **sensibili alla severità dell'urto** e riducono l'energia rilasciata dall'*airbag* (cioè la quantità di gas pompato nel sacco e la velocità di rilascio del gas stesso) in funzione della severità dell'urto.

In questo modo tutti gli urti al di sotto di un certo livello di severità (ad esempio urto frontale contro barriera rigida a 40 km/h) ma sempre al di sopra del livello minimo di attivazione del sistema, provocano l'apertura dei *bag* con livelli di energia più bassi e quindi con pericolo di lesioni da *out of position* inferiore. Infatti a queste limitate severità d'urto l'energia ridotta del *bag* è sufficiente per garantire una corretta ritenuta in quanto le forze in gioco sono limitate. Anche i sistemi *airbag* "intelligenti" stanno rapidamente diffondendosi nel parco circolante e molte delle vetture di nuova progettazione ne sono già provviste;

- **step 6: pretensionatori multipli e *airbag* ginocchia** (figura 12).

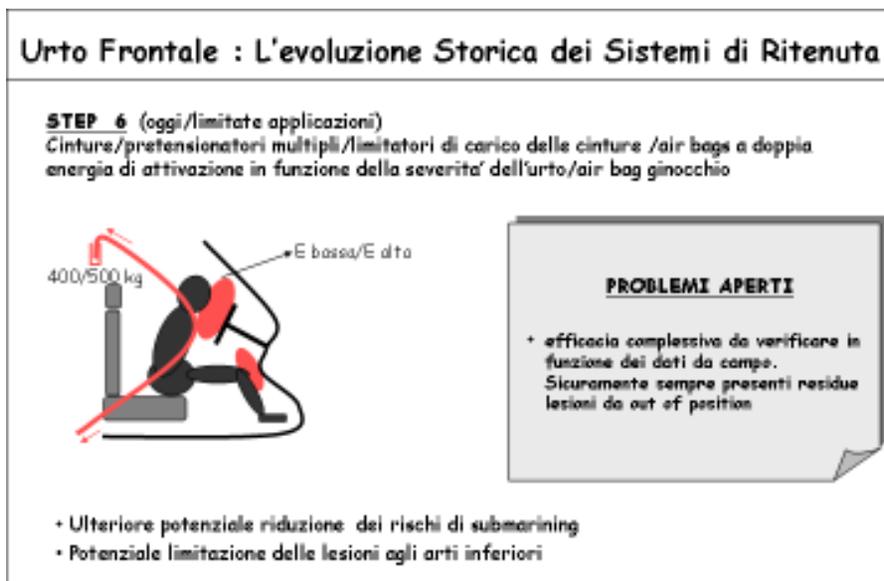


Figura 12

Negli **step** precedenti si è descritta l'evoluzione del sistema di ritenuta in urto frontale mettendo in evidenza tutti i successivi passi fatti per ottenere consistenti miglioramenti delle *performance* complessive.

La trattazione ha messo sicuramente in luce la complessità e la sofisticatezza dei temi trattati e i difficili compromessi necessari per avvicinare le condizioni ottimali di ritenuta tenendo conto per quanto possibile della variabilità delle situazioni specifiche.

Tutti questi sviluppi hanno portato ad un aumento significativo delle probabilità di sopravvivenza in urto frontale con un controllo/limitazione drastico delle lesioni alla testa ed al torace.

Proprio questi sviluppi hanno modificato in modo sostanziale i risultati delle analisi incidentologiche negli ultimi 10-15 anni con una presenza statistica sempre più significativa delle lesioni agli arti inferiori.

Le lesioni agli arti inferiori (piedi, ginocchia, femore, bacino, ecc.) presentano un profilo di severità secondo la scala AIS solitamente limitato. Si ricorda che

la scala AIS misura la probabilità di decesso legato alla singola lesione e gli arti inferiori non sono di solito connessi a meccanismi lesivi dall'esito fatale. Ciò non toglie che le lesioni agli arti inferiori hanno una rilevanza sociale molto importante in quanto presentano spesso probabilità di conseguenze invalidanti permanenti piuttosto alte.

La limitazione delle lesioni agli arti inferiori è quindi una tematica sempre più al centro dell'attenzione degli esperti di sicurezza passiva.

Tutti gli sviluppi sui sistemi di ritenuta descritti negli step precedenti hanno avuto sicuramente un effetto indotto nel ridurre le lesioni agli arti inferiori (soprattutto grazie all'utilizzo delle cinture di sicurezza) ma non tale da limitare in modo significativo o addirittura esaurire la problematica.

Questo fatto non è così sorprendente tenendo conto della prossimità delle ginocchia alla parte bassa della plancia sia per quanto concerne il passeggero anteriore che a maggior ragione il guidatore.

Il primo livello da garantire per avere una limitazione delle lesioni agli arti inferiori riguarda la progettazione stessa delle parti basse della plancia sia sul lato passeggero che (soprattutto) guidatore.

Occorre evitare di montare parti rigide e lesive nelle zone di potenziale impatto delle ginocchia e la deformabilità a compressione deve essere il più possibile progressiva e a livelli costanti. Le forme geometriche devono inoltre evitare spigoli vivi o comunque soluzioni che tendano a concentrare le sollecitazioni.

I pretensionatori multipli già citati precedentemente (montati nella fibbia e sul terzo attacco basso al sedile) contribuiscono a limitare efficacemente l'avanzamento delle ginocchia e quindi a ridurre le lesioni agli arti inferiori.

Recentemente hanno iniziato a fare la loro comparsa gli **airbag per le ginocchia**, almeno **limitatamente al lato guidatore**, dove più urgenti sono gli interventi per ridurre il panorama lesivo agli arti inferiori.

Si tratta di sistemi *airbag* di dimensioni limitate, che devono gonfiarsi in modo da riempire lo spazio libero tra le ginocchia e il sottopancia prima di importanti movimenti in avanti degli occupanti e che devono trasmettere la forza alle ginocchia in modo il più possibile costante e progressivo.

Per quanto concerne il sistema di attivazione viene semplicemente utilizzato quello per gli *airbag* frontali.

Per quanto riguarda invece le caratteristiche intrinseche delle soluzioni tecniche è possibile sia avere sistemi che "spostano" il *cover* del sottopancia a contatto con il ginocchio utilizzando il *cover* stesso come "distributore di carico", che sistemi ad apertura più tradizionale, con il sacco a diretto contatto con il ginocchio. In questo secondo caso, evidentemente, il sacco deve presentare una sufficiente rigidità in modo da evitare una penetrazione del ginocchio (geometricamente limitato nella sua superficie di contatto) in assenza di adeguati livelli di forza trasmessi.

Non è ancora chiaro quale di questi due sistemi prevarrà nelle applicazioni su veicoli.

Quanto riportato negli step precedenti descrive in gran parte la componentistica oggi utilizzata nei veicoli per il miglioramento delle prestazioni del sistema di ritenuta in urto frontale.

Per gli sviluppi futuri v. successivo paragrafo 2.8.

2.4 La sensoristica per i sistemi di ritenuta in urto frontale: evoluzione storica

La sensoristica per i sistemi di ritenuta in urto frontale può innanzitutto distinguersi in principale e secondaria (figura 13).

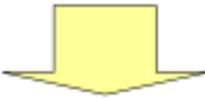
Definizioni
<ul style="list-style-type: none">- SENSORISTICA PRINCIPALE: regola l'attivazione di air bags frontali e pretensionatori in tutte le situazioni- SENSORISTICA SECONDARIA: risolve casi specifici (es. sensore di presenza del passeggero anteriore per disattivare se opportuno il bag frontale lato passeggero)

Si vede innanzitutto nel seguito lo sviluppo storico della sensoristica principale nel caso piu' complesso in cui anche i pretensionatori vengono attivati elettronicamente e non comandati da specifico sensore meccanico locale.

Figura 13

Si definisce **sensoristica principale** la sensoristica che regola l'attivazione dei componenti in tutte le situazioni.

La **sensoristica secondaria** è invece quella destinata a risolvere casi specifici (es. sensore di presenza del passeggero anteriore per disattivare il *bag* passeggero quando non necessario e quindi risparmiare in costi di riparazione).

Si descrive di seguito lo sviluppo storico della sensoristica principale per i sistemi di ritenuta in urto frontale fino allo stato dell'arte attuale (v. successivo paragrafo 2.8 in merito agli sviluppi futuri).

Bisogna innanzitutto ricordare che molti pretensionatori vengono attivati attraverso sensori di tipo meccanico abbinati al singolo pretensionatore stesso. Questi sistemi meccanici, apparsi a partire dagli anni 90, continuano ad essere presenti in molti modelli di attuale progettazione e svolgono in modo corretto la loro azione.

Questi sistemi non verranno nel seguito descritti in quanto, pur avendo avuto una evidente evoluzione tecnica, sono rimasti sempre concettualmente identici e non hanno presentato modifiche sostanziali di architettura come è invece capitato ai sistemi di tipo elettromeccanico e nel seguito elettronico.

I primi sistemi *airbag* (e pretensionatori) erano equipaggiati di una **sensoristica elettromeccanica di tipo "decentrato"** (figura 14). Questa ti-

pologia di sensoristica può essere così descritta:

STEP 1: Sensoristica Elettromeccanica Decentrata (fino all'inizio degli anni '90)

Descrizione:

- due o più sensori elettromeccanici (sistemi "integratori") posizionati in specifiche zone del frontale veicolo e destinati ad identificare precocemente le condizioni d'urto necessarie alla rapida attivazione dei componenti di sicurezza
- centralina di controllo in zona anteriore tunnel centrale con un ulteriore sensore elettromeccanico di sicurezza e le funzioni di diagnostica



Condizioni di attivazione:

chiusura di almeno uno dei sensori anteriori e del sensore di sicurezza della centralina

Figura 14

- in specifiche zone del frontale del veicolo erano posizionati due o più sensori elettromeccanici destinati ad identificare una condizione d'urto sufficientemente severa per giustificare l'attivazione dei componenti di sicurezza il più rapidamente possibile. Questi sensori elettromeccanici consistevano in veri e propri "interruttori" sensibili alle decelerazioni che funzionavano in modo "integrale". Non si trattava quindi di accelerometri in grado di analizzare nei dettagli una curva di decelerazione ma solo di "sistemi integratori" che, in presenza di una sufficiente energia chiudevano un circuito elettrico;
- in corrispondenza di una zona protetta dell'abitacolo veniva poi piazzata una centralina di controllo che, oltre a svolgere le funzioni di diagnostica, presentava a sua volta un cosiddetto "sensore di sicurezza". Si trattava essenzialmente di un ulteriore sensore elettromeccanico "ad integrazione" tarato molto basso e che evidentemente non si chiudeva nel caso di situazioni limite quali martellate in vicinanza dei sensori frontali ecc.

La sensoristica di tipo elettromeccanico decentrato consentiva l'attivazione dei sistemi *airbag* solo con la chiusura di almeno uno dei sensori anteriori e del sensore di sicurezza nella centralina.

Questo tipo di sensoristica è ormai completamente scomparso dal mercato dei nuovi autoveicoli ma ha equipaggiato tutti i sistemi *airbag* fino all'inizio degli anni 90.

La sensoristica di tipo elettromeccanico decentrato presentava diversi limiti di cui i principali possono essere così sintetizzarsi:

- non utilizzava veri e propri accelerometri con analisi del segnale d'urto ma solo interruttori elettromeccanici. L'informazione ottenuta era quindi solo di tipo integrale;
- il posizionamento di elementi di sicurezza quali sensori per l'attivazione degli *airbag* nel vano motore presentava problemi specifici di *layout* e di manutenzione (comunque superabili);
- con questo sistema risultava impossibile differenziare le soglie di attivazione per *airbag* e pretensionatori. La soglia di attivazione era unica.

Nonostante questi limiti va comunque ribadito un vantaggio specifico dei sistemi elettromeccanici decentrati: la vicinanza dei sensori anteriori alle zone di primo impatto e quindi la capacità di reagire rapidamente all'accadimento di un urto (in termini sia di variazione di velocità che di contenuto di decelerazione media).

Questo aspetto verrà approfondito (v. paragrafo 2.5) anche in relazione ai parametri che intervengono in sede di decisione di attivazione/non attivazione di un sistema *airbag*.

A partire dalla fine degli anni 80, inizio degli anni 90, allo scopo di ovviare agli inconvenienti dei sistemi decentrati precedentemente descritti, si è sviluppata una nuova tecnologia che è possibile definire "centralizzata" (figura 15).

STEP 2: Sensoristica Elettronica Centralizzata (da inizio anni 90)

Descrizione:

- l'intera sensoristica per l'attivazione di air bags e pretensionatori e' concentrata nella centralina elettronica di comando solitamente posizionata sulla parte anteriore del tunnel centrale del veicolo
- la centralina di comando di questo tipo e' equipaggiata di un vero e proprio accelerometro elettronico e di un software di analisi del segnale, oltre che di un sensore di sicurezza elettromeccanico del tutto analogo a quello già descritto per i sistemi decentrati
- Funzioni principali svolte dalla centralina:
 - produrre il segnale di decelerazione
 - Analizzare il segnale individuando nel più breve tempo possibile l'eventuale raggiungimento della soglia di attivazione rispettivamente per air bags e pretensionatori
 - gestire segnali ulteriori provenienti da sensori secondari
 - gestire l'intera diagnostica relativa al sistema elettronico

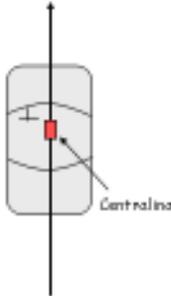


Figura 15

Tale tecnologia consiste essenzialmente nel fatto che l'intera sensoristica per l'attivazione di *airbag* e pretensionatori è stata concentrata nella centralina elettronica di comando solitamente posizionata sulla parte anteriore del tunnel centrale del veicolo.

Le centraline di comando di questo tipo sono equipaggiate di un vero e proprio accelerometro elettronico e di un software di analisi del segnale, oltre che di un sensore di sicurezza elettromeccanico tarato basso del tutto analogo a quello già descritto per i sistemi decentrati.

Queste centraline svolgono quindi un lavoro molto sofisticato, in modo da non richiedere alcun aiuto da parte di sensori di tipo decentrato.

Queste sono le funzioni principali svolte dalla centralina del sistema centralizzato:

- produrre il segnale di decelerazione una volta che si sia superata una soglia minima di "risveglio" della centralina;
- analizzare il segnale prodotto individuando nel più breve tempo possibile l'eventuale raggiungimento della soglia di attivazione rispettivamente per *airbag* e per pretensionatori;
- gestire segnali ulteriori provenienti da altri sensori specifici di tipo secondario (es. sensore di presenza passeggero, sensore di cinture allacciate ecc.);
- gestire l'intera diagnostica relativa al sistema elettronico.

La centralina elettronica concede il consenso di attivazione se le soglie specifiche vengono raggiunte (rispettivamente per *airbag* e pretensionatori) e al contempo il sensore elettromeccanico di sicurezza viene chiuso.

È possibile affermare che tutta la sensoristica degli anni 90 è stata sostanzialmente di tipo centralizzato.

La sensoristica di tipo centralizzato presenta in ogni caso **limiti** che si sono innanzitutto evidenziati con l'introduzione dei cosiddetti sistemi intelligenti a doppia soglia di attivazione per gli *airbag* (bassa ed alta energia).

In presenza di questi sistemi infatti non sempre la struttura del veicolo è in grado di trasmettere in modo sufficientemente efficace il segnale dell'impatto alla zona anteriore del tunnel nei modi e nei tempi richiesti.

Un **secondo limite dei sistemi centralizzati** è stato evidenziato con l'introduzione del nuovo test di omologazione ECE/CEE in urto frontale *offset* con barriera deformabile. L'impulso di decelerazione prodotto in questa tipologia d'urto (peraltro piuttosto artificiale) è molto difficile da analizzare correttamente e velocemente da un sistema di tipo centralizzato, soprattutto in presenza di specifiche architetture strutturali.

Al fine di ovviare a queste limitazioni sono iniziati ad apparire sul mercato sistemi di una terza generazione che si possono definire "ibridi".

Tali sistemi di sensoristica consistono in un sistema centralizzato ulteriormente equipaggiato di uno o più sensori frontali simili a quelli già descritti per i sistemi decentrati in grado di fornire all'accelerometro centralizzato ulteriori informazioni anticipate sull'accadimento dell'urto.

Tali sistemi si stanno rapidamente diffondendo e possono essere oggi considerati "stato dell'arte".

2.5 Logiche di taratura della sensoristica in urto frontale

Con il presente paragrafo si intendono dare alcuni rudimenti sulle metodologie di taratura dei sensori per urto frontale.

Per la definizione delle "categorie di decelerazione" si assume come riferimento un sistema di *airbag* intelligenti più pretensionatori elettronici in cui le soglie di attivazione siano diverse.

Evidentemente queste brevi note possono solo fornire un'idea sommaria dei test necessari per tarare una sensoristica di urto frontale e della logica del software di attivazione. Si spera però che possano essere un'utile introduzione per ulteriori approfondimenti possibili nella letteratura specializzata.

L'accelerometro centralizzato (eventualmente equipaggiato di ulteriori sensori decentrati come descritto precedentemente) è dotato di un software di analisi dei dati a cui è necessario "insegnare" a distinguere diverse situazioni. A tal fine vengono definite delle "categorie" in corrispondenza delle quali sono condotti test e ricavati diagrammi di decelerazione. Sulla base di queste informazioni il software della centralina viene opportunamente "tarato" al fine di "interpolare e generalizzare" le informazioni fornite per i set limitati di dati disponibili.

Nel seguito si sintetizzano le **definizioni** e le **logiche** di queste **categorie di decelerazioni** che rappresentano la **base di ogni taratura** della sensoristica *airbag*/pretensionatori (figura 16):

Categorie di Decelerazioni
<ul style="list-style-type: none">+ Situazione di NO FIRE per i pretensionatori ("rough road" + test di urto frontale a bassa velocità)+ Situazione di NO FIRE per gli air bags frontali ("rough road" come per i pretensionatori + test di urto frontale a bassa velocità)+ Condizioni di MUST FIRE per i pretensionatori (una o più configurazioni di urto frontale a bassa velocità)+ Condizioni di MUST FIRE per gli air bags (una o più configurazioni di urto frontale a bassa velocità)+ Condizioni limite massime di attivazione per la soglia a bassa energia degli air bags (una o più configurazioni di urto frontale)+ Condizioni limite minime di attivazione per la soglia ad alta energia degli air bags (una o più configurazioni di urto frontale)+ Condizioni di corretto funzionamento ad alta velocità (tempi di attivazione) degli air bags e dei pretensionatori (più configurazioni di urto frontale)

Figura 16

- situazioni di **no fire** per i **pretensionatori**. Si tratta di quelle configurazioni nelle quali la **non attivazione** dei pretensionatori deve essere **garantita**. Sono sostanzialmente decelerazioni corrispondenti a condizioni di "*rough road*" (utilizzo estremo del veicolo, buche, traversine, ecc.) e di un test a bassa velocità di urto frontale (ad esempio urto contro barriera rigida ad inte-

- ro ricoprimento a velocità dell'ordine di 14-15 km/h);
- situazioni di **no fire** per gli **airbag**. Si tratta di quelle configurazioni nelle quali la **non attivazione** degli **airbag** deve essere **garantita**. Sono sostanzialmente decelerazioni corrispondenti alle medesime condizioni di "*rough road*" citate per i pretensionatori e di un test a bassa velocità di urto frontale. È opportuno ricordare il fatto che i livelli di *no fire* corrispondenti agli **airbag** sono in Europa solitamente più elevati di quelli corrispondenti ai pretensionatori (ad esempio urto contro barriera rigida ad intero ricoprimento a velocità dell'ordine di 16-18 km/h). Negli USA, dove deve essere garantita la protezione per gli utenti non cinturati attraverso sistemi di ritenuta passivi, gli **airbag** hanno spesso soglie di non attivazione più basse e corrispondenti a quelle dei pretensionatori. È opportuno dare qualche indicazione di dettaglio sulle complesse problematiche connesse alla scelta delle soglie di attivazione/non attivazione degli **airbag**. Per i guidatori cinturati la strategia è abbastanza semplice: il sistema non si deve mai attivare in assenza di un pericolo di contatto del viso del guidatore con il volante. Ponendosi nelle condizioni più sfavorevoli (guidatore vicino al volante, presenza di un limitatore di carico, *slack* della cintura sfavorevole) si arriva ai livelli di *no fire* precedentemente citati. Per i guidatori non cinturati la questione è molto più complessa in quanto l'attivazione del **bag** a basse velocità può da un lato contribuire a ridurre le lesioni da urti contro volante ma dall'altro può ingenerare sia lesioni specifiche da *out of position* che abrasioni e piccole bruciature inevitabili in presenza dell'attivazione del **bag** in un numero notevole di casi (si ricordi infatti l'aumento repentino dei casi di sinistri frontali con l'abbassarsi della velocità d'impatto). Trovare il giusto compromesso tra queste tendenze contrastanti non è facile. Livelli di *no fire* simili a quelli già descritti per i pretensionatori sono stati quelli adottati storicamente e paiono abbastanza corretti considerando l'esperienza acquisita in questi anni. Si noti ulteriormente che a rigore i livelli di *no fire* (e successivamente di *must fire*) per i passeggeri anteriori dovrebbero essere più alti che per i guidatori, almeno per quanto concerne le configurazioni di utente cinturato. Nel passato ci sono stati casi di centraline **airbag** con soglie di attivazione guidatore/passeggero anteriore differenziate. Purtroppo queste configurazioni sono scomparse dal mercato soprattutto per il fatto che generavano contenziosi notevoli a livello di utenza in quanto è comunque impossibile garantire l'assenza di lesioni al passeggero anteriore in presenza di urto frontale con sola attivazione del **bag** guidatore e questo fatto, anche se del tutto indipendente dall'attivazione del **bag** passeggero può avere conseguenze di responsabilità tecnica del costruttore difficili da derimere in sede di causa civile o penale;
 - condizioni di **must fire** per i **pretensionatori**. Si tratta di quelle configurazioni nelle quali la **certa attivazione** dei pretensionatori deve essere **garantita**. Consistono solitamente di una o più configurazioni di urto frontale a bassa velocità (ad es. urto contro barriera rigida perpendicolare a 24-25 km/h);
 - condizioni di **must fire** per gli **airbag**. Si tratta di quelle configurazioni nelle quali la **certa attivazione** degli **airbag** frontali (basso livello di energia nel

caso di sistemi a due livelli) deve essere **garantita**. Consistono solitamente in una o più configurazioni di urto frontale a bassa velocità (ad esempio urto contro barriera rigida perpendicolare a 28 km/h). Di nuovo è opportuno citare il fatto che i livelli di *must fire* corrispondenti agli *airbag* europei sono solitamente più elevati di quelli corrispondenti ai pretensionatori. Negli USA, dove deve essere garantita la protezione per gli utenti non cinturati attraverso sistemi di ritenuta passivi, gli *airbag* hanno spesso soglie di attivazione più basse e corrispondenti a quelle dei pretensionatori. Valgono qui le stesse considerazioni specifiche già viste per le configurazioni di *no fire*;

- **condizioni limite massime di attivazione per la soglia a bassa energia degli *airbag***. Si tratta di una o più configurazioni di urto frontale di energia superiore a quella della soglia di *must fire* degli *airbag* nelle quali il sistema deve continuare ad attivarsi rilasciando il livello ridotto di energia (es. urto contro barriera rigida perpendicolare a 35 km/h). Queste condizioni devono essere definite e verificate solo nel caso di *airbag* a doppia soglia di attivazione;
- **condizioni limite minime di attivazione per la soglia di alta energia degli *airbag***. Si tratta di una o più configurazioni di urto frontale di energia superiore sia alla soglia di *must fire* degli *airbag* sia alle condizioni limite massime di attivazione per la soglia a bassa energia degli *airbag* nelle quali il sistema deve attivarsi rilasciando il livello superiore di energia (es. urto contro barriera rigida perpendicolare a 40 km/h). Queste condizioni devono essere definite e verificate solo nel caso di *airbag* a doppia soglia di attivazione;
- **condizioni di corretto funzionamento ad alta velocità degli *airbag* e dei pretensionatori**. Si tratta di tutte quelle configurazioni di urto frontale ad alta velocità/alta energia in cui sia i pretensionatori sia gli *airbag* si devono attivare con una sufficiente rapidità. Si tratta quindi di verificare che il sistema di ritenuta venga attivato con una velocità sufficiente da poter consentire agli elementi che lo compongono di svolgere correttamente la propria azione (per i pretensionatori ridurre lo "*slack*" delle cinture prima di importanti movimenti in avanti dei corpi degli occupanti e per gli *airbag* il loro completo gonfiaggio davanti agli occupanti stessi). Nel seguito si riporta un elenco di tipiche configurazioni di questa categoria:
 - urto contro barriera rigida perpendicolare a 50 km/h,
 - urto contro barriera rigida perpendicolare a 56 km/h,
 - urto contro barriera rigida inclinata a 30° verso destra a 50 km/h,
 - urto contro barriera rigida inclinata a 30° verso sinistra a 50 km/h,
 - urti *offset* con ricopertura 40% o 50% contro barriera rigida a velocità comprese tra 50 e 60 km/h,
 - urti *offset* con ricoprimento 40% contro barriera deformabile ECE a velocità comprese tra 56 km/h e 64 km/h,
 - urto contro palo centrato a velocità comprese tra 40 km/h e 50 km/h,
 - urti veicolo contro veicolo centrati o offsetati a velocità dell'ordine dei 50 km/h +50 km/h anche con geometrie che mettano in evidenza problematiche di compatibilità strutturale (SUV contro vetture berlina),
 - urti *underride* per simulare condizioni di incastro del veicolo sotto il pianale

di un veicolo commerciale,

- altri urti atti a mettere in evidenza le caratteristiche di attivazione dei sistemi *airbag* e pretensionatori in condizioni reali di utilizzo.

Le configurazioni d'urto citate in corrispondenza di ogni "categoria di decelerazione" hanno evidentemente carattere indicativo in quanto ogni casa automobilistica, in assenza di una legislazione specifica di riferimento, adotta test propri. Ciò non toglie che i livelli di severità d'impatto citati rappresentino un'ottima approssimazione di quanto avviene in realtà nella messa a punto della sensoristica per *airbag* e pretensionatori.

In ogni caso si tratta di un "insieme di configurazioni" molto complesso che implica la realizzazione pratica di una notevole serie di test sia per ricavare i diagrammi di decelerazione che consentono la taratura della centralina che poi per verificare materialmente il corretto funzionamento della stessa.

In realtà alcuni dei test possono essere usati per scopi multipli (es. le condizioni di *rough road* sono uniche) ma questo non toglie che la complessità ed il numero dei test da effettuare sia molto elevato.

Per fornire un ordine di grandezza, per lo sviluppo di una vettura berlina di un'unica versione (es. 5 porte), è necessario l'utilizzo di un numero di prototipi dell'ordine di almeno una decina, di un numero di veicoli di verifica di processo di almeno 20-25 e di un ugual numero di vetture di preserie.

Come si vede lo sforzo in sede di progettazione e sperimentazione è notevole, tralasciando tutta la tematica delle simulazioni matematiche che danno un considerevole aiuto alla corretta definizione delle tarature.

Per completare la descrizione della metodologia di taratura delle centraline *airbag* e pretensionatori si intendono ora fornire alcune informazioni di massima sul funzionamento dei software di analisi dei segnali/decisione su attivazione o non attivazione dei componenti di sicurezza.

Per semplificare al massimo la trattazione si farà riferimento ad una centralina dotata esclusivamente di un accelerometro lineare longitudinale e di un algoritmo di analisi delle decelerazioni ad un unico livello di attivazione per gli *airbag*. Va inoltre sottolineato che la metodologia di analisi del segnale qui riportata è puramente esemplificativa ed ogni casa costruttrice di elettronica per i componenti di sicurezza adotta tecnologie specifiche che possono differire in modo sostanziale da quanto qui descritto.

Ciò non toglie che questa trattazione permette di capire le problematiche insite nella taratura delle centraline *airbag*/pretensionatori e quindi di apprezzarne le metodologie di funzionamento.

Il punto chiave da cui deve partire l'analisi è la necessità per questi algoritmi di essere **predittivi**.

Mentre nei casi di non attivazione la centralina deve capire durante tutto l'urto, fino alla fine dello stesso, che non si stiano verificando condizioni tali da attivare i pretensionatori e gli *airbag*, nei casi di attivazione la situazione impone alla centralina di capire precocemente l'esigenza di attivazione dei componenti di sicurezza, che devono svolgere in tempo la loro azione (arrotolamento del nastro a cintura ancora non tesa nel caso del pretensionatore e completo gonfiaggio

prima di importanti spostamenti in avanti degli occupanti nel caso dei *bag*).

Questo è il motivo per cui gli algoritmi di attivazione non possono basarsi esclusivamente o principalmente sui delta di velocità ma devono invece analizzare con attenzione le caratteristiche del profilo di decelerazione, l'unico che può dare delle indicazioni su come continuerà a svilupparsi l'impatto.

In ogni istante t^* durante l'impatto la centralina è in grado di valutare (figura 17):

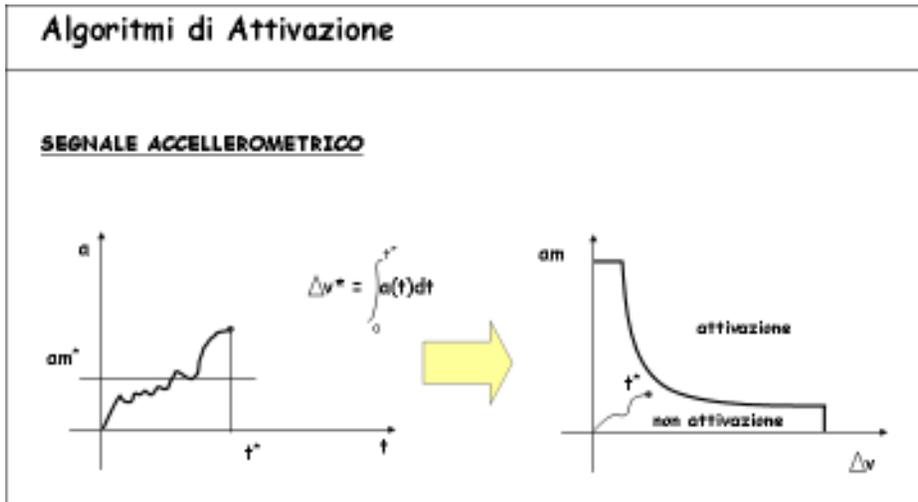


Figura 17

- il delta di velocità raggiunto fino a quel punto come integrale del profilo di decelerazione detto Dv^* ,
- la decelerazione media am^* pari a Dv^*/t^* ,
- ogni altro valore di decelerazione "caratteristica" calcolata con specifici algoritmi sulla base dei dati noti fino a quel punto.

I valori di Dv^* e am^* sono valutati in ogni t^* durante l'urto.

A questo punto è possibile definire, in un diagramma am/Dv (figura 15), sulla base dei dati ottenuti in fase di calibrazione, con le categorie di decelerazione definite in precedenza, un "confine di attivazione" nello spazio am/Dv (rispettivamente, in generale, uno per i pretensionatori ed uno per gli *airbag*) che abbia le seguenti caratteristiche (ad esempio per gli *airbag*):

- in corrispondenza di tutte le configurazioni di *no fire* il percorso del punto di coordinate am^*/Dv^* non raggiunge mai il confine di attivazione e quindi non consente mai l'attivazione degli *airbag*;
- in corrispondenza di tutte le configurazioni di *must fire* il percorso del punto di coordinate am^*/Dv^* raggiunge il confine di attivazione e quindi consente l'attivazione degli *airbag*;
- in corrispondenza di tutte le configurazioni di *must fire* in cui è richiesta un'attivazione entro un tempo massimo dettato dalla necessità per i componenti di sicurezza di svolgere il loro ruolo, il raggiungimento del confine di attivazione

avviene entro il termine assegnato.

Come si vede si tratta di richieste molto stringenti. Il confine di attivazione viene stabilito sulla base dei dati di calibrazione (cioè effettuando tutti i test sulle categorie di decelerazione e quindi stabilendo il confine stesso). Il risultato viene poi controllato operativamente installando centraline dotate di sensore calibrato (equipaggiato dell'algoritmo di calcolo e del confine di attivazione) e riverificando le corrette attivazioni/non attivazioni/tempi di attivazione ripetendo i test sulle categorie di decelerazione.

Da questo quadro appare chiaro ad esempio che l'attivazione di *airbag* e pretensionatori deve avvenire ben prima che vengano raggiunti i valori finali di delta di velocità tipici delle diverse categorie di decelerazione attraverso l'implementazione degli algoritmi predittivi.

Relativamente alla forma della curva di confine tra attivazioni e non attivazioni vale la pena di fare alcune considerazioni qualitative:

- nella zona a bassi Dv /alti am la curva deve presentare livelli di decelerazione media minima di attivazione molto alti per evitare l'apertura dei *bag* nelle condizioni di "*rough road*". Infatti è in queste condizioni (buche, salti, traversine ferroviarie, pavè ecc.) che si presentano alti livelli di decelerazione media non abbinati a delta di velocità tali da giustificare l'apertura dell'*airbag*. Va detto che questa è la zona più difficile da calibrare in quanto è praticamente impossibile prevedere tutte le condizioni di "*rough road*" che non richiedono l'attivazione del *bag* ma che possono effettivamente presentarsi nell'utilizzo ordinario della vettura. Dopo molti anni di utilizzo pratico degli *airbag* è possibile affermare che i casi di attivazione non necessaria sono gli unici a presentare una reale criticità non ancora del tutto risolta per i problemi tecnici accennati;
- con il progressivo aumento dei livelli di Dv viene richiesto un minor contenuto di accelerazione media per attivare il sistema. È questa l'area di attivazione corrispondente agli urti reali a velocità più o meno elevata. In questa zona le tecnologie di attivazione sono state messe a punto molto bene ed è possibile affermare che in condizione di urto "vero" (non di sollecitazione da "*rough road*") le centraline *airbag* distinguono le condizioni di necessaria attivazione da quelle di non attivazione richiesta in modo praticamente certo, a meno di guasti di tipo elettronico alla componentistica;
- esiste sempre un livello minimo di accelerazione media al di sotto del quale il sistema *airbag* non viene mai attivato.

Considerazioni analoghe valgono evidentemente anche per i pretensionatori con un profilo del confine tra le zone di attivazione e non attivazione diverso e più sensibile all'attivazione.

2.6 Cenni ad ulteriori problematiche relative ai sistemi di ritenuta in urto frontale

Il quadro precedentemente presentato deve essere completato facendo ulteriori cenni ad alcune problematiche ancora aperte relativamente alla protezione degli occupanti in urto frontale (figura 18).

Problematiche Ancora Aperte

- risoluzione totale delle problematiche di "out of position" attraverso l'applicazione di sensoristica ancora più raffinata
- risoluzione definitiva delle problematiche di compatibilità tra sedili bambini montati contromano e l'air bag frontale passeggero attraverso una sensoristica di validità generale e che non richieda l'intervento volontario dell'utente
- ulteriore miglioramento delle condizioni di ritenuta



LA RISOLUZIONE DI QUESTE TEMATICHE GUIDA GLI ATTUALI SVILUPPI TECNICI NEL CAMPO DEI SISTEMI DI RITENUTA IN URTO FRONTALE

Figura 18

Si tratta sostanzialmente di due tematiche (già precedentemente citate e che verranno ora ulteriormente approfondite):

- **problematiche di "out of position"**. Si tratta delle lesioni provocate dall'apertura stessa dei sistemi *airbag* e che possono risultare importanti qualora l'occupante si trovi eccessivamente in prossimità del punto di apertura del sacco al momento dell'attivazione. Come già detto i sistemi a due livelli di attivazione riducono drasticamente questa problematica grazie alla limitazione dell'apertura ad alta energia alla sola categoria degli urti frontali ad alta velocità. I tecnici continuano a lavorare in questo settore e la futura sensoristica che apparirà sul mercato (v. paragrafo 2.8) è anche finalizzata a migliorare ulteriormente questa situazione;
- utilizzo di **sedili bambini in corrispondenza** ad un **airbag frontale passeggero**. Bisogna distinguere diversi casi e descrivere brevemente diverse soluzioni disponibili o futuribili.
Per i sedili bambini montati contromano il problema è serissimo ed il rischio di lesioni gravi o mortali molto elevato. Due sono le soluzioni disponibili attualmente in commercio:
 - una è la chiavetta di disattivazione del *bag* passeggero che consente di impedire l'attivazione dello stesso. Si tratta di una soluzione assolutamente efficace ma che evidentemente richiede un intervento volontario e cosciente dell'utente;
 - la seconda è rappresentata dalla disponibilità in commercio di sedili bambini speciali dotati di un "*transponder*" che consente la disattivazione automatica del *bag* passeggero in presenza di un sedile bambino lato passeggero montato contromarcia.

La soluzione è tecnicamente ottimale ma richiede di montare lo specifico sedile bambino della specifica casa automobilistica sullo specifico sedile della vettura che lo può accettare. Infatti il "transponder" montato nel sedile bambino "parla" esclusivamente con la specifica elettronica montata nel sedile passeggero della vettura.

Anche per la problematica dei sedili bambini montati contromano la tecnologia continua a evolvere e la sensoristica che apparirà in futuro sul mercato (v. paragrafo 2.8) è anche finalizzata a migliorare ulteriormente questa situazione. Diverso è il discorso dei sedili bambini montati nel senso di marcia. Qui si tratta di avere semplicemente l'accortezza di arretrare al massimo il sedile dell'autovettura prima di vincolare il sedile bambino. Anche questo purtroppo è un atto volontario lasciato all'utente e quindi di non certa realizzazione. Il rischio è comunque limitato.

2.7 La sensoristica secondaria per i sistemi di ritenuta in urto frontale

La **sensoristica secondaria** per i sistemi di ritenuta in urto frontale è già stata definita come quella **destinata a risolvere situazioni specifiche** al di là del normale funzionamento del sistema stesso (figura 19).

Sensoristica Secondaria
<ul style="list-style-type: none">• sensori di controllo di allacciamento delle fibbie delle cinture di sicurezza dei posti anteriori (attivazione luce rossa segnalazione utente non cinturato ed eventuale disattivazione pretensionatori)• chiavetta di disattivazione air bag frontale passeggero (compatibile con sedili bambini contromano)• sedili con transponder che dialogano con specifici sedili bambini contromano per la disattivazione automatica dell'air bag frontale passeggero• sensore presenza passeggero anteriore (attivazione dell'air bag frontale passeggero)• sensore di posizione longitudinale del sedile guidatore. In caso di sedile con corsa "tutto avanti" vengono incrementate le situazioni in cui il bag guidatore è attivato a bassa energia. Utilizzabile solo con air bag a doppio livello

Figura 19

I principali componenti che possono essere definiti "sensoristica secondaria" sono:

- **sensori di controllo di allacciamento delle fibbie di guidatore e passeggero anteriore.** Il non utilizzo delle cinture può far attivare la specifica luce rossa di segnalazione di utente non allacciato (prestazione presente su molti autoveicoli seppur spesso limitatamente al posto guidatore) e provocare l'automatica disattivazione dei pretensionatori la cui funzione è del tutto inutile in

questa circostanza. In alcuni modelli europei (in numero molto limitato) questo sensore viene anche utilizzato per ridurre i livelli di *no fire* e *must fire* degli *airbag* eguagliandoli a quelli dei pretensionatori;

- **chiavetta di disattivazione dell'*airbag* passeggero** (v. anche paragrafo 2.6). Si tratta di una "serratura" solitamente posizionata lateralmente alla plancia lato passeggero in zona in ombra a porta chiusa che consente, utilizzando coscientemente la chiave di accensione, di disattivare l'*airbag* passeggero. Una volta disattivato il *bag* passeggero compare sulla strumentazione una luce gialla fissa di segnalazione dell'avvenuta disattivazione che consente al conducente di conoscere lo stato di funzionamento del *bag* passeggero. I manuali d'uso e manutenzione dei veicoli equipaggiati di tale componente impongono in modo giustamente perentorio il suo utilizzo nel caso di montaggio di un sedile bambino contromano in corrispondenza del posto anteriore;
- **sedili con *transponder*** che dialogano con specifici sedili bambini contromano per la disattivazione del *bag* passeggero in modo automatico (v. anche paragrafo 2.6). Vale la pena di ricordare che il vantaggio di questi sistemi consiste nell'automatica disattivazione del *bag* passeggero mentre lo svantaggio nel fatto che l'utente debba essere cosciente di possedere una vettura con sedile dotato di ricevitore in grado di dialogare con il *transponder* e di sapere che deve acquistare uno specifico sedile bambino della medesima casa automobilistica. Quando il *bag* passeggero viene disattivato si ha, anche in questo caso, l'accensione della specifica luce gialla di segnalazione dell'avvenuta disattivazione che consente al conducente di conoscere lo stato di funzionamento del *bag* passeggero;
- **sensore presenza passeggero anteriore**. Questo sensore secondario risulta ampiamente diffuso nel parco autoveicolistico e montato in alta percentuale in tutti i modelli di nuova progettazione. Si tratta di un sensore collocato al di sotto della seduta del sedile passeggero in grado di distinguere esclusivamente se il sedile stesso è occupato da "qualcosa" o è vuoto. Più esplicitamente questo sensore non è in grado di distinguere tra sedili bambini, occupanti, pacchi ecc. ma è in grado solo di individuare il caso in cui nessun peso di un certo rilievo è posizionato sul sedile passeggero. Qualora questo sensore rilevi il sedile passeggero come "non occupato" disattiva automaticamente il *bag* (ed in alcuni casi il pretensionatore) passeggero. Di nuovo in questo caso viene spesso attivata la spia gialla che consente al conducente di conoscere che in quel momento il *bag* passeggero non è attivo. L'obiettivo di questo sensore secondario è sostanzialmente quello di ridurre in modo significativo i costi di riparazione in tutti quegli incidenti a bassa velocità ma al di **sopra della soglia di *must fire*** che consentono la riparazione del veicolo;
- **sensori di posizione del sedile guidatore**. Si tratta di un semplice sensore che verifica la posizione longitudinale del sedile guidatore. Qualora il sedile

stesso sia nella parte più avanzata della sua corsa (e quindi indicasse con alta probabilità la presenza di un guidatore di piccola statura posizionato in prossimità del volante) viene ulteriormente aumentato il numero di situazioni in cui il *bag* guidatore è attivato a bassa energia. Evidentemente questo sensore è applicabile ai soli sistemi di ritenuta dotati di *airbag* a doppio livello.

2.8 Future evoluzioni della sensoristica per i sistemi di ritenuta in urto frontale

Questo paragrafo è più aleatorio dei precedenti in quanto non è finalizzato a descrivere la situazione esistente ma intende fornire un quadro degli sviluppi futuri, che come sempre presentano incertezza tecnica.

Con la cautela necessaria quando si parla di innovazione, si può dire che queste sono le linee di tendenza più significative nella ricerca tecnica nel campo dei sensori per i sistemi di ritenuta in urto frontale (figura 20):

Componenti in Sviluppo				
TIPOLOGIA DEL COMPONENTE	FINALITÀ*	CONTRIBUISCE ALLE TECNICHE COPE	CONTRIBUISCE ALLA COMPATIBILITÀ A - B /sedili bambini	AGGIUNDE LE CONDIZIONI DI RITENUTA
Sensori di peso avanzati	Distingue non solo tra assenza/presenza ma è anche in grado di "catalogare" l'occupante	SI	SI	NO
Sensori di posizione	Stabilire l'esatta posizione interna degli occupanti al momento di attivare gli air bags	SI	SI	NO
Sensori di pre-crash	Accelerare l'attivazione dei componenti di sicurezza quando necessario attivando componenti di ritenuta reversibili	NO	NO	SI
Pre-tenditore reversibile per le cinture di sicurezza	Pre-tende le cinture in modo reversibile prima dell'inizio dell'urto	NO	NO	SI

Figura 20

- **sensori peso.** Si tratta della naturale evoluzione del sensore presenza passeggero precedentemente descritto. Il sensore peso non solo è in grado di distinguere tra presenza e assenza di occupanti ma è anche in grado di "**catalogare**" l'occupante stesso. Più precisamente gli sviluppi tecnici relativi al sensore peso sono destinati sia a cercare di valutare la taglia di peso dell'occupante (distinguendo tra taglia piccola, media e grande) sia di individuare la "forma peso" tipica dei sedili bambini contromano per contribuire (ma non determinare con informazione singola) l'opportunità di disattivare l'*airbag* passeggero.

L'informazione sul peso dell'occupante è invece potenzialmente utile per mi-

giorare ulteriormente le "matrici di scelta" tra diverse energie di attivazione del sistema *airbag*. È infatti evidente come in presenza di occupanti di peso sotto la media sia opportuno privilegiare ulteriormente i livelli a bassa energia mentre in presenza di occupanti di peso superiore alla media valga la logica opposta. Questi sviluppi sono stati ulteriormente incentivati dalla nuova normativa Std. USA 208 relativamente alle problematiche di *out of position*. Si tratta di una recente integrazione dello Std. USA 208 che in pratica richiede di effettuare test statici con manichini di diverse taglie (compresi manichini bambini), verificando i livelli di lesioni in queste situazioni limite. Al fine di superare questa evoluzione della specifica normativa americana i costruttori hanno da un lato posizionato il *cover* del *bag* passeggero più prossimo al parabrezza (in modo da renderlo difficilmente avvicinabile da manichini posizionati in avanti) e dall'altro hanno incentivato la ricerca di sensori peso sempre più sofisticati che permettano anche di disattivare completamente il *bag* passeggero in condizioni di questo genere. Questa evoluzione dei sensori peso è già comparsa in alcune applicazioni destinate al mercato USA. Permangono comunque serie problematiche legate alla difficoltà di installazione e alla stabilità delle prestazioni del tempo;

- **sensori di posizione:** sono una famiglia di soluzioni tecniche destinate a stabilire l'esatta posizione interna degli occupanti prima dell'attivazione degli *airbag*. I sensori di posizione sono quindi una tecnologia potenzialmente chiave per eliminare in modo completo e definitivo tutte le situazioni di "*out of position*" limitando l'energia (o al limite evitando del tutto l'attivazione) degli *airbag*. Si tratta di sviluppi estremamente complessi che consistono nell'utilizzo di diverse tecnologie (raggi infrarossi, telecamere, ultrasuoni ecc.). È opinione diffusa che si tratti di sistemi che richiedano ancora studi ed approfondimenti e la cui applicazione pratica potrebbe anche incorrere in significative problematiche di "*product liability*";
- **sensori di *pre-crash*** e corrispondenti **componenti ad attivazione anticipata**. Questo è sicuramente un filone della ricerca tecnica estremamente interessante. Si ha ormai la disponibilità di tecnologie che consentono di valutare la probabilità che un incidente si verifichi nell'immediato futuro (3-5 sec). Sporadiche applicazioni sono già operanti sul mercato.

Queste tecnologie sono ormai altamente affidabili anche se, per motivi tecnici specifici, non possono garantire al 100% di distinguere tra reali situazioni di *pre-crash* e "falsi *crash*". Questi sensori avranno un doppio utilizzo:

- da un lato forniranno un'informazione supplementare alla centralina elettronica di controllo di *airbag* e pretensionatori consentendo una più rapida attivazione dei componenti di sicurezza qualora la prima fase della decelerazione in urto confermasse l'ipotesi di *pre-crash*;
- inoltre è in fase di sviluppo un nuovo componente di sicurezza: il **pre-tenditore** reversibile per le cinture.

Questo componente consiste sostanzialmente in un tenditore del nastro della cintura di sicurezza comandato da un motorino elettrico. Rispetto al pretensionatore (che comunque verrà attivato ad "urto in corso") il pretenditore è

più lento ma reversibile. La relativa lentezza non ne pregiudica la funzionalità in quanto il sensore di *pre-crash* mette a disposizione l'informazione di probabile impatto con anticipo rispetto all'inizio dell'urto stesso. Al contempo la reversibilità, in caso di urto non attuale, permette di evitare in modo totale costi di riparazione non necessari.

È opinione diffusa che questi sviluppi tecnici siano molto promettenti e tali da apparire sul mercato in tempi relativamente ravvicinati.

3 SICUREZZA PASSIVA IN URTO LATERALE: LE PROBLEMATICHE STRUTTURALI E DI RITENUTA

3.1 Quadro generale

Gli urti laterali sono la seconda tipologia di impatto più pericolosa per quanto concerne le lesioni gravi e mortali. A questo si aggiunga il fatto che la maggiore sofisticatezza dei sistemi di ritenuta in urto frontale e soprattutto l'utilizzo più esteso delle cinture di sicurezza sta spostando sempre di più la lesività verso gli urti laterali.

Gli urti laterali possono essere di tipologie molto diverse.

Tecnicamente vengono definiti urti laterali tutti gli urti che interessano le due fiancate dell'autoveicolo con direzione delle forze prevalentemente trasversale (coni di direzione delle forze da -30° a $+30^\circ$ relativamente alla direzione trasversale per ogni fiancata, v. figura 21). Inoltre la zona d'impatto deve trovarsi a sua volta all'interno di una delle due fiancate.

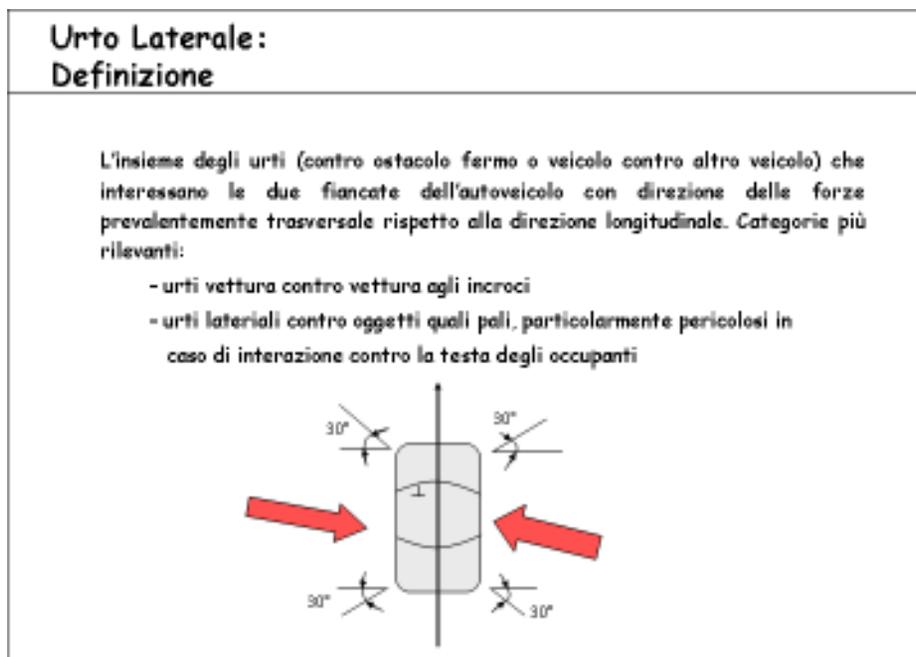


Figura 21

Si noti che considerando collettivamente sia la definizione di urto frontale che quella di urto laterale ed urto posteriore si ricava la conclusione che esistono configurazioni d'impatto (in assenza di ribaltamento) che non possono essere classificate in nessuna di queste categorie. Si tratta ad esempio degli impatti latero-frontali dove il nome stesso indica il fatto che la tipologia del sinistro non ne consente la stretta classificazione all'interno di una famiglia specifica di urti.

Due sono le categorie più rilevanti di urti laterali:

- **urti laterali vettura contro vettura** che avvengono solitamente agli incroci. In questa categoria particolarmente pericolosi sono i sinistri in cui il veicolo urtante provoca una significativa intrusione all'interno dell'abitacolo nella zona delle porte o della fiancata posteriore;
- **urti laterali contro oggetti fissi concentrati** quali i pali. Questa categoria di urti laterali è sempre molto pericolosa sia per le forti intrusioni che ingenera che per l'alta probabilità che gli oggetti urtanti presentino traiettorie che intercettano segmenti corporei sensibili quali la testa.

Vale subito la pena di sottolineare come la famiglia degli urti laterali si presenti come meno "omogenea" rispetto a quella degli urti frontali.

Infatti gli urti frontali, pur potendo presentare una notevole casistica (a parziale ricoprimento, *underride*, contro palo ecc.) hanno in comune il fatto che la struttura anteriore del veicolo rappresenta sempre un "filtro" tra l'ostacolo (sia esso fisso o mobile) ed il vano abitacolo.

Questo implica la possibilità di "disaccoppiare" il comportamento strutturale da quello del sistema di ritenuta. Il frontale del veicolo definisce, con la sua interazione con l'oggetto urtante, il profilo di decelerazione mentre il sistema di ritenuta reagisce a quest'ultima caratteristica accoppiando gli occupanti alla decelerazione.

Il meccanismo lesivo non è quindi legato in modo diretto alla tipologia ed all'energia dell'oggetto urtante ma viene "mediato" dalla deformazione del frontale. Ad esempio il meccanismo lesivo si presenterà del tutto identico in due tipologie di impatto frontale che presentino lo stesso profilo di decelerazione dell'abitacolo, indipendentemente dalla causa effettiva (oggetto urtato, sua energia, ecc.) che ha prodotto questa decelerazione.

In urto laterale la situazione è del tutto diversa. Il meccanismo lesivo è un meccanismo essenzialmente di contatto. L'unico "mediatore" tra l'oggetto urtante e gli occupanti è la fiancata del veicolo che presenta caratteristiche di resistenza e geometriche ben diverse da quelle di un frontale. Questo implica che il profilo di deformazione e quindi i meccanismi lesivi siano estremamente sensibili ai dettagli con cui avviene il sinistro e tendano perfino ad esaltarne limitate differenze tipologiche.

Per questo è difficile identificare linee guida per la progettazione delle strutture e dei sistemi di ritenuta che risultino efficaci in urto laterale.

A questo si deve aggiungere il fatto che le cinture di sicurezza non svolgono in urto laterale alcun ruolo veramente significativo. Infatti non esiste uno "spazio di deformazione" che le cinture di sicurezza possano "gestire" in termini di assorbimento energetico: il meccanismo lesivo è di puro contatto trasversale.

Infine i segmenti corporei più direttamente soggetti a lesioni gravi o mortali sono la testa (con assoluta priorità in termini di gravità), il collo ed il torace. Più limitate in termini statistici sono le lesioni gravi ad addome e bacino.

Tutte queste caratteristiche generali degli urti laterali sono sintetizzate in figura 22.

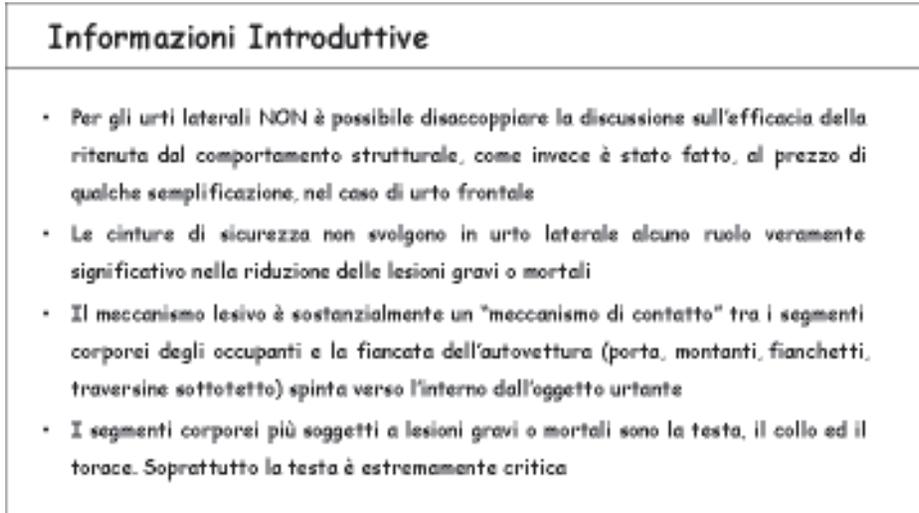


Figura 22

In questa sezione si approfondiranno le tematiche strutturali e di ritenuta in urto laterale.

Per quanto detto precedentemente la tematica della ritenuta in urto laterale verrà trattata simultaneamente a quella strutturale, alla quale risulta connessa in modo inscindibile:

- idee principali che regolano la sicurezza e la ritenuta in urto laterale paragrafo 3.2;
- evoluzione storica dei sistemi di ritenuta e delle ottimizzazioni strutturali in urto laterale, con particolare attenzione alla protezione della testa che costituisce in assoluto la tematica più rilevante paragrafo 3.3;
- tematiche relative alla sensoristica in urto laterale con particolare attenzione alle problematiche specifiche relative alle esigenze di rapidità di reazione in caso di attivazione dei *bag* laterali paragrafo 3.4 e 3.5;
- ulteriori problematiche relative alla sensoristica in urto laterale e la tematica dei sensori secondari paragrafo 3.6 e 3.7.

3.2 Le problematiche di ritenuta in urto laterale

Il punto di partenza per approfondire le tematiche di sicurezza passiva in urto laterale è l'evidenza che il meccanismo lesivo è sostanzialmente un "mec-

canismo di contatto" tra i segmenti corporei degli occupanti e la fiancata dell'autovettura (porte, montanti, fianchetti) spinta verso l'interno dall'oggetto urtante.

La problematica fondamentale è che lo spazio disponibile lateralmente agli occupanti è limitato e quindi la fiancata in deformazione tende a spingere contro i segmenti corporei con estrema rapidità e sviluppando energie cinetiche molto alte.

Un altro concetto importante da considerare è che in urto laterale i segmenti corporei più soggetti a lesioni gravi o mortali sono la testa, il collo ed il torace. È quindi chiaro che a questi segmenti corporei ed in particolar modo alla testa vada prestata la massima attenzione per ottenere realmente una protezione efficace degli occupanti.

Fatte queste premesse vengono ora presentati i **meccanismi di protezione** che è possibile **implementare per alleviare le conseguenze lesive in urto laterale**:

- aspetti strutturali legati ad un corretto "profilo di deformazione" della fiancata del veicolo.

È chiaro che la fiancata del veicolo non è in grado di resistere alla violenza di un impatto laterale. Infatti sia che la fiancata risulti interessata ad un urto contro il frontale di un altro veicolo sia che venga deformata da un ostacolo fisso quale un palo, le rigidità degli oggetti intrudenti sono di molte volte superiori alle rigidità ottenibili per le fiancate stesse.

È quindi tecnicamente impossibile impedire le deformazioni.

È possibile però "ottimizzarle" cercando di ridurre al minimo gli spostamenti intrusivi a livello di testa/torace anche a costo di lasciare "sfogare" le deformazioni in basso nella zona degli arti inferiori;

- aspetti di assorbimento energetico nelle parti di contatto tra i segmenti corporei e la fiancata dell'autovettura.

Una seconda strategia (non alternativa ma in abbinamento alla risoluzione delle problematiche strutturali) consiste nell'ottimizzare la capacità di deformazione/assorbimento di energia di quelle parti della fiancata dell'autoveicolo che entrano in contatto con i segmenti corporei degli occupanti in urto laterale (pannelli porte, montanti, traversine tetto ecc.).

Pur potendo far molto in questa direzione (braccioli deformabili, materiale ad assorbimento di energia sotto i rivestimenti interni ecc.) è indubbio che una serie di limitazioni tecniche legate essenzialmente alla ristrettezza degli spazi disponibili, impediscono in realtà di poter ottenere un comportamento ottimale migliorando esclusivamente i rivestimenti interni.

Per questo gli *airbag* laterali (per il torace/addome e per la testa) si sono rapidamente imposti come un valido strumento di aiuto per assorbire energia in urto laterale.

È opportuno notare la rapidità con cui le diverse tipologie di *airbag* laterali si sono imposte sul mercato. Al contrario degli *airbag* frontali che hanno richiesto sostanzialmente più di un decennio per raggiungere alti livelli di utilizzo, gli *airbag* laterali, comparsi per la prima volta verso la metà degli anni 90 sono ormai un equipaggiamento presente in quasi tutti i veicoli.

Questa rapidità di penetrazione nel mercato trova la sua giustificazione sia in ragioni puramente di *marketing* sia nell'effettiva potenzialità protettiva di questi componenti di sicurezza confermata ed avvalorata, soprattutto per gli *airbag* dedicati alla protezione della testa, dai dati che provengono dall'analisi incidentologica.

La strategia appena descritta, che combina un'ottimizzazione strutturale finalizzata a ridurre le intrusioni a livello di testa/torace con rivestimenti interni della fiancata ad assorbimento di energia e soprattutto equipaggiati di *airbag* per la protezione dei diversi segmenti corporei (ed in primo luogo della testa), è sintetizzata in figura 23 (il paragrafo 3.3 affronta l'evoluzione storica dei sistemi di ritenuta, in particolare quelli europei in base a questa strategia).

Strategia di Limitazione delle Lesioni
<ul style="list-style-type: none">• Non potendo impedire la deformazione della fiancata è necessario che la struttura induca un "profilo di deformazione ottimizzato". Tale profilo deve tendere a ridurre al minimo gli spostamenti intrusivi a livello di testa/torace anche a costo di lasciar "sfogare" le deformazioni in basso nella zona degli arti inferiori.• Ottimizzazione della capacità di deformazione/assorbimento di energia di quelle parti della fiancata che entrano in contatto con i segmenti corporei degli occupanti in urto laterale (pannelli porte, montanti, traversine tetto, ecc.) Vi sono oggettive LIMITAZIONI TECNICHE a questo approccio• Introduzione di <i>air bags</i> laterali soprattutto per testa e torace come valido strumento di aiuto per assorbire energia in urto laterale

Figura 23

Prima però di addentrarsi in questo approfondimento è opportuno analizzare ulteriormente gli aspetti strutturali delle problematiche di urto laterale soprattutto per mettere in evidenza come:

- certi sviluppi tecnici relativi all'ottimizzazione dei profili di intrusione delle fiancate dei veicoli siano stati fortemente influenzati dalle normative di riferimento;
- il comportamento strutturale della fiancata del veicolo resti comunque fortemente dipendente dalla tipologia dell'oggetto urtante e dalla direzione dell'impatto;
- le problematiche strutturali non si riducano esclusivamente all'ottimizzazione del profilo di deformazione ma debbano concernere anche l'implementazione di misure atte ad evitare o comunque a ridurre la possibilità di intrusioni di tipo localizzato, soprattutto in relazione ad impatti contro oggetti concentrati.

Questo approfondimento non intende portare alla sottovalutazione di tutti gli sforzi fatti per ottimizzare strutturalmente le fiancate dei veicoli in relazione alle configurazioni di urto laterale ma vuole chiarire che certe scelte tecniche derivano comunque da ipotesi di lavoro che, pur essendo del tutto ragionevoli e condivisibili, devono essere comunque evidenziate in modo da poter apprezzare tutti i limiti insiti nell'approccio proposto.

Il punto di partenza per approfondire la tematica dell'ottimizzazione strutturale in urto laterale è la sensibilità della fiancata del veicolo alla tipologia dell'oggetto intrudente (sia esso veicolo od ostacolo fisso) ed alla direzione e posizione relativa di impatto.

Nel seguito si sintetizzano le principali motivazioni che rendono le deformazioni delle fiancate così sensibili ai "dettagli" del sinistro:

- le **fiancate sono facilmente deformabili**: qualora compresse da oggetti intrudenti presentano profili di deformazione flessionale attivati a livelli di forza relativamente bassi. Con riferimento ai diagrammi forze-spostamento per i frontali è possibile affermare che le fiancate degli autoveicoli presentano rigidità a compressione di almeno un ordine di grandezza inferiore e quindi in presenza di impulsi trasversali delle forze molto significativi presentano profili di intrusione estremamente pronunciati. Il meccanismo di trasferimento dell'impulso laterale avviene quindi a livelli di forza relativamente bassi che agiscono per spostamenti/tempi piuttosto lunghi, fino a quando l'intero veicolo urtato assume un'energia cinetica laterale compatibile con quella dell'oggetto urtante. Negli urti laterali veicolo contro veicolo è quindi usuale verificare deformazioni del frontale della vettura urtante relativamente limitate anche in presenza di intrusioni catastrofiche della vettura urtata;
- i **profili di deformazione dipendono** in modo sensibilissimo dalla **posizione del centro di compressione**. Si consideri innanzitutto la variazione della resistenza trasversale della fiancata con la migrazione verticale del centro di pressione dal basso verso l'alto in corrispondenza del montante centrale (o montante B). Appare evidente che la resistenza trasversale della fiancata presenta il massimo in corrispondenza del pavimento di scocca. Qualora infatti l'oggetto urtante vada ad interessare direttamente il pavimento di scocca (es. urto laterale vettura contro vettura con veicolo urtante fortemente inclinato verso il frontale a causa di una significativa forza di frenatura e quindi con il paraurti abbassato rispetto alla posizione a disegno) la forza di resistenza trasversale della scocca risulta piuttosto alta. Tale forza tende a decedere in modo pronunciato appena il baricentro delle forze supera il livello del pavimento della vettura. In questa zona l'impulso viene trasmesso al telaio dai montanti/porte con un meccanismo sostanzialmente a taglio, ancora efficiente ma molto meno rigido del meccanismo puramente a compressione che si ha in caso di allineamento tra l'oggetto intrudente ed il pavimento di scocca. La forza resistente continua a decedere in modo molto pronunciato con il sollevarsi del baricentro di spinta dell'oggetto intrudente che tende sempre più a trasferire l'impulso della forza attraverso meccanismi di carattere flessionale con formazione di cerniere plastiche. Più il baricentro di compres-

sione tende ad alzarsi e più il profilo di intrusione presenterà importanti componenti di spostamento nella zona di testa e torace e basse forze abbinata di resistenza trasversale. È quindi evidente la fortissima dipendenza della resistenza trasversale dall'altezza da terra del centro di compressione. Considerazioni analoghe valgono per valutare la dipendenza della forza di resistenza trasversale dalla migrazione in senso longitudinale del centro di pressione a parità di altezza da terra. Senza entrare in una descrizione troppo minuziosa appare evidente che qualora il centro di pressione si trovi nella zona del montante anteriore (montante A) o del montante posteriore (montante C) la scocca presenterà livelli superiori di resistenza trasversale grazie alla presenza di elementi strutturali di collegamento delle fiancate a livello di cintura veicolo. Con la migrazione del centro di pressione verso il montante centrale, soprattutto in presenza di altezze tali da indurre meccanismi di trasferimento dell'impulso delle forze di tipo prevalentemente flessionali, si ha una drastica riduzione della resistenza trasversale a causa dell'assenza di specifici elementi di collegamento fiancate a livello di linea cintura in corrispondenza del montante B. Sinteticamente è quindi possibile affermare che la resistenza trasversale della fiancata del veicolo risulta estremamente sensibile alla posizione del centro di pressione sia in senso longitudinale che in senso verticale;

- i **profili di deformazione dipendono da quanto risulta concentrata o distribuita la forza**. Il centro di pressione non rappresenta infatti interamente il modo in cui la forza si trasferisce dall'oggetto urtante alla vettura urtata. Un altro parametro di notevole importanza è l'**impronta di compressione**. Anche per questo parametro la sensibilità della fiancata all'estensione dell'impronta di pressione è molto pronunciata. Alcuni esempi possono facilmente aiutare a capire questo aspetto. Qualora l'impronta di pressione intercetti un elemento strutturale scatolato quale i montanti, il brancardo (o trave sottoporta) o le traverse di rinforzo posizionate nelle porte questi elementi strutturali impediranno o ridurranno l'intrusione localizzata e tenderanno a distribuire la forza e quindi la deformazione a più elementi della struttura della fiancata inducendo un profilo di deformazione di tipo "esteso". Qualora invece l'impronta di compressione risulti di estensione limitata (oggetto intrudente di tipo concentrato quale ad esempio lo spigolo di una vettura in urto laterale con importanti componenti longitudinali) e l'impronta stessa non intercetti elementi strutturali di "distribuzione" delle forze appare chiaro che la deformazione avrà una caratteristica più concentrata e tenderà a sfondare localmente la fiancata (ad esempio a livello di pannello porta in zona non rinforzata da traverse scatolate);
- la **fiancata è formata anche da elementi mobili** quali le porte, vincolati in modo puntuale alla fiancata stessa e che possono assumere un moto proprio, funzione dei punti di attacco alla parte fissa della carrozzeria. È questo un fenomeno poco conosciuto della deformazione della fiancata di un'auto-vettura che è risultato fonte di molti studi in corrispondenza all'introduzione dei nuovi test di normativa ECE/ONU n. 95 e Std. USA 214 (parte dinamica).

Il caso più significativo da studiare è quello del moto della porta anteriore (ad es. lato guidatore). La porta è vincolata alla fiancata attraverso le due cerniere anteriori e la serratura posteriore. La serratura posteriore si trova ad altezza cintura veicolo e risulta connessa al montante centrale o montante B. Si valuti ora la velocità di intrusione della cerniera della porta anteriore sinistra che rappresenta un parametro strettamente legato all'energia cinetica con cui la porta stessa impatterà contro i segmenti corporei del guidatore. È chiaro che la velocità di intrusione dipende in modo sensibilissimo dai punti in cui si vengono a formare le cerniere plastiche che regolano la deformazione del montante B. Si faccia a questo proposito riferimento alla figura 24.

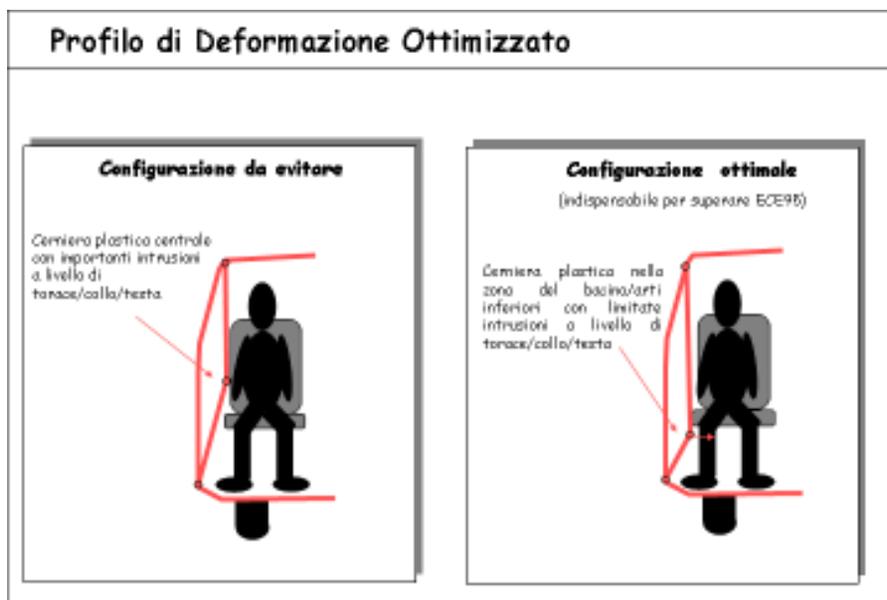


Figura 24

Nel caso della configurazione riportata a sinistra (da evitare) si formano tre cerniere plastiche una in corrispondenza della base del montante B, una a livello di nodo montante-traversina tetto ed una a livello della linea di cintura. Quest'ultima cerniera plastica intermedia si colloca quindi in prossimità della serratura ed in prima approssimazione ne condivide la velocità di intrusione. Qualora questa deformazione sia causata da un veicolo che urta ad esempio la fiancata a 50 km/h con punto di impatto collocato in posizione intermedia tra la cerniera bassa alla base del montante B e la cerniera plastica di cintura è facilmente intuibile che il punto rappresentativo della cerniera intermedia presenterà una velocità di intrusione molto elevata (che può addirittura superare la velocità iniziale di impatto del veicolo urtante) a causa dell'effetto leva negativo. Al contrario qualora la geometria dei punti di cerniera plastica presenti la configurazione riportata a destra in figura 24 (configurazione ottimale)

che si caratterizza dal fatto che la cerniera intermedia "migra" verso la base del montante B, la velocità di intrusione del punto rappresentativo della cerniera porta risulterà, a parità di velocità e posizione del veicolo urtante, molto più limitata grazie all'effetto leva positivo. L'esempio presentato dimostra che gli elementi mobili quali le porte sono fortemente dipendenti dalle caratteristiche complessive di deformazione della fiancata ed assumono un moto proprio influenzato dalla dinamica specifica dei punti di attacco alla parte fissa della scocca ed in particolare ai montanti. Poiché le porte sono a loro volta i principali "mediatori" delle forze verso gli occupanti il controllo del loro moto è chiave per ottimizzare il trasferimento dell'energia cinetica di contatto e quindi per minimizzare le lesioni.

Da questo quadro complessivo è possibile trarre alcune "linee guida" per l'ottimizzazione strutturale.

Il punto di partenza è il fatto che è necessario ridurre al minimo l'energia cinetica che i diversi componenti della fiancata del veicolo, siano essi le porte, i montanti o i fianchetti posteriori, presentano al momento in cui entrano in contatto con i segmenti corporei degli occupanti ed in particolare della testa e del torace. Questo obiettivo deve esser raggiunto tenendo presente la variabilità delle possibili configurazioni di urto laterale e la sensibilità dei profili deformativi ai dettagli del sinistro specifico. Per raggiungere questo obiettivo di minimizzazione dell'energia cinetica di contatto queste sono le **principali linee guida** a livello di ottimizzazione strutturale:

- 1 è impossibile rinforzare in modo complessivo la fiancata del veicolo al fine di limitare significativamente le deformazioni nella maggioranza dei sinistri. La fiancata risulta in generale troppo deformabile rispetto ad oggetti intrudenti quali frontali di veicoli od ostacoli fissi. È necessario quindi "gestire" la deformazione, nell'impossibilità di evitarla o di limitarla in modo significativo;
- 2 è necessario minimizzare la variabilità della rigidità trasversale complessiva della fiancata relativamente alla migrazione verticale del centro di pressione in corrispondenza del montante B, con particolare attenzione al moto del punto rappresentativo della serratura porta, il cui profilo/velocità di intrusione determina l'energia cinetica con cui la porta stessa urterà i segmenti corporei dell'occupante. È quindi importante che venga il più possibile favorito il profilo di deformazione indicato come "configurazione ottimale" in figura 4 che tende sia a limitare l'energia cinetica della porta che a scaricare l'intrusione verso il basso salvaguardando per quanto possibile la zona di testa/torace. La soluzione ottimale sarebbe quella di introdurre un elemento di controventatura trasversale a livello cintura in corrispondenza del montante B ma questo è possibile solo in un numero molto esiguo di veicoli (es. vetture spider a due posti);
- 3 sarebbe altamente auspicabile limitare la riduzione della rigidità trasversale in funzione dello spostamento longitudinale del centro di pressione. Di nuovo questo risultato può essere parzialmente raggiunto forzando il profilo della "configurazione ottimale" riportata in figura 4. Anche per la riduzione della variabilità longitudinale la soluzione ottimale sarebbe quella di avere un

elemento di controventatura trasversale a livello di cintura in corrispondenza del montante B ma questo è possibile, come già detto, solo in un numero esiguo di veicoli;

- 4 bisogna impedire o perlomeno limitare la possibilità di avere intrusioni localizzate a causa di forze concentrate agenti in zone prive di elementi strutturali. Bisogna quindi integrare la scocca di specifici elementi strutturali che possano "distribuire" lo sforzo all'intera fiancata. Questa problematica riguarda soprattutto le portiere che sono essenzialmente costituite da pannelli di lamiera. È quindi necessario rinforzare la struttura delle porte in modo che in presenza di forze concentrate lo sforzo venga trasmesso ai vincoli con la scocca limitando al minimo la deformazione flessionale locale del pannello.

Definite in questo modo le linee guida dell'ottimizzazione strutturale in urto laterale è opportuno sviluppare ulteriormente alcuni concetti che aiutano a mettere in evidenza la complessità di questa tematica:

- il regolamento ECE/ONU n. 95 ha incentivato fortemente lo sviluppo delle linee guida 2-3. Infatti sia la configurazione di impatto che i criteri biomeccanici obbligano ad ottimizzare i profili di intrusione secondo le linee guida contenute nella figura 4. Non bisogna però sottacere il fatto che l'ottimizzazione del profilo di intrusione viene forzata in corrispondenza della configurazione d'urto di normativa, con punto di impatto relativamente basso. Purtroppo in altre situazioni reali nelle quali i veicoli urtanti presentano centri di pressione particolarmente alti (veicoli SUV, *trucks* ecc.) risulta praticamente impossibile ottenere profili di intrusione ottimali. La linea di tendenza è comunque quella corretta;
- la normativa Std. USA 214 (parte dinamica) non mette invece in evidenza le esigenze strutturali precedentemente descritte a causa della scelta della configurazione di prova (ed in particolare della rigidità della barriera) e dei criteri biomeccanici dei manichini. Questo riferimento normativo non sembra quindi in grado di guidare la progettazione strutturale in modo ottimale. Và peraltro detto che i dettagli esecutivi del test risultano rappresentativi delle caratteristiche tipiche dei veicoli coinvolti nei sinistri che avvengono in USA;
- la normativa Std. USA 214 (parte statica) impone il rinforzo delle porte in termini di resistenza flessionale e quindi forza la linea guida 4 presentata precedentemente.

È importante sottolineare questi collegamenti tra linee guida di progettazione strutturale ed esigenze imposte dalle normative in quanto in realtà sono state queste ultime (insieme, in Europa, ad alcune considerazioni di "marketing") a orientare e governare gli sviluppi tecnici per quanto riguarda la sicurezza passiva in urto laterale.

3.3 L'evoluzione storica dei sistemi di ritenuta in urto laterale/ tipologie di *airbag*

La prima fase di miglioramento delle capacità di protezione occupanti in urto laterale si è sviluppata attraverso una sempre migliore messa a punto della struttura del veicolo.

Nell'arco di più di 20 anni, dall'inizio degli anni 70 all'inizio degli anni 90

tutti gli sforzi di riduzione della lesività in urto laterale si sono concentrati essenzialmente su aspetti strutturali e sono stati direttamente influenzati dalla normativa legislativa in forza o in sviluppo.

Dal punto di vista storico le fasi salienti di questo processo di progressivo affinamento della capacità di progettare strutture più sicure in urto laterale possono essere così sintetizzate:

- inizio anni 70: viene introdotto lo Std. USA 214 (parte statica) che impone livelli minimi di resistenza a compressione dei pannelli porta. La conseguenza è che in USA le porte risultano da subito equipaggiate di rinforzi strutturali solitamente scatolati (tubi, profilati ecc.) e finalizzati ad assicurare i livelli minimi di resistenza richiesti dalla normativa. Niente di simile viene implementato in Europa (con l'eccezione dei veicoli destinati all'esportazione verso il mercato nord americano);
- inizio anni 90: in USA vengono pubblicate versioni sempre più definitive di un test dinamico ad integrazione dello Std. USA 214. I costruttori che commercializzano veicoli sul mercato americano iniziano a studiare come modificare la progettazione in modo da poter superare questo futuro vincolo legislativo. Per la scelta della configurazione d'urto, dei manichini e dei criteri di lesione appare chiaro che la chiave risiede non solo nel rinforzare in generale la struttura (il profilo di intrusione presentato come ottimale in figura 4 non risulta tale per lo standard americano in quanto aumenta le sollecitazioni sul bacino il cui criterio biomeccanico USA è piuttosto stringente) ma anche nel garantire rivestimenti interni in grado di filtrare i picchi di accelerazione, sia a livello di torace che di bacino, sia per il guidatore che per l'occupante seduto dietro di esso;
- inizio anni 90: il comitato tecnico formato in sede ECE/ONU decide di non assumere lo Std. USA 214 parte dinamica come base tecnica per la futura normativa europea. Lo Std. USA 214 parte dinamica è infatti giudicato inadatto a rappresentare la realtà incidentologica europea, carente per quanto riguarda i criteri biomeccanici ed in generale non in grado di guidare correttamente la progettazione strutturale. Vengono svolti studi specifici in Europa e viene emanata la prima bozza della futura normativa ECE/ONU n. 95. Risulta immediatamente chiaro che il riferimento tecnico europeo è diverso e più severo di quello USA e che richiede particolare attenzione relativamente ai profili di intrusione;
- inizio anni 90: entra in vigore l'integrazione dinamica dello Std. USA 214. Questa evoluzione legislativa implica solo limitati accorgimenti dal punto di vista strutturale ma impone modifiche significative alla progettazione dei rivestimenti interni di porte e fianchetti posteriori. Appare comunque chiaro che il superamento dello Std. USA 214 parte dinamica non garantisce affatto buone prestazioni nei confronti della futura normativa ECE/ONU n. 95;
- inizio anni 90: il profilo di intrusione ottimale di figura 4 viene identificato come la "chiave" per passare le prescrizioni della futura normativa ECE/ONU n. 95. Appaiono sul mercato in Europa i primi veicoli che già dichiarano la conformità al futuro riferimento legislativo;
- inizio anni 90: anche in Europa, sulla spinta soprattutto del *marketing* delle diverse case automobilistiche, cominciano ad apparire in modo sistematico le traverse di rinforzo nelle porte secondo Std. USA 214 (parte statica);

- fine anni 90: tutte le vetture commercializzate in USA sono conformi alle prescrizioni dello Std. USA 214 sia per la parte statica che per la parte dinamica. In Europa tutte le vetture sono conformi alle prescrizioni della normativa ECE/ONU n. 95 e spesso, grazie ai rinforzi nelle porte aggiunti in modo volontario, risultano anche conformi allo Std. USA 214 (parte statica). Alcune vetture, i cui mercati di commercializzazione comprendono sia l'Europa sia gli USA, risultano conformi sia a Std. USA 214 (parte statica e dinamica) sia al regolamento ECE/ONU n. 95;
- fine anni 90: i *ratings* di sicurezza passiva in urto laterale (USA: SINCAP; Europa: Euro-NCAP) vengono considerati dalle case automobilistiche come ulteriori riferimenti da considerare nel corso degli sviluppi dei nuovi modelli.

Come si vede lo sviluppo dell'ottimizzazione strutturale è stato sostanzialmente influenzato dall'evoluzione internazionale delle normative. Rileggendo i passi dello sviluppo storico presentato precedentemente sorgono spontanee alcune domande a cui si cercherà ora di dare una risposta.

Innanzitutto è stato detto con chiarezza che l'introduzione dei rinforzi nelle porte è stata imposta in USA dalla normativa (Std. USA 214 - parte statica) fin dagli anni 70 ma è risultata sostanzialmente l'effetto di scelte di *marketing* delle case automobilistiche per quanto concerne l'Europa.

Sorge quindi spontanea la domanda su quanto e se sono utili realmente questi rinforzi strutturali nelle porte.

Il quesito non è di facile risposta. Da quanto detto in sede di linee guida di ottimizzazione strutturale appare chiaro che le traverse di rinforzo nelle porte svolgono un ruolo nell'aiutare ad evitare intrusioni localizzate e quindi a coinvolgere un numero superiore di elementi strutturali nella deformazione della fiancata nel caso di urto contro oggetti concentrati.

Il loro utilizzo pratico ha però messo in evidenza che:

- pur progettate in modo adeguato le traverse non riescono ad evitare del tutto la localizzazione della deformazione. L'effetto di coinvolgimento delle parti adiacenti della fiancata alla deformazione è quindi limitato;
- qualora posizionate in corrispondenza della linea cintura possono intrudere all'interno del veicolo rappresentando un percorso privilegiato per trasmettere importanti quote di energia cinetica direttamente al torace degli occupanti;
- qualora posizionate più in basso della linea cintura non interagiscono più con segmenti corporei particolarmente critici ma continuano comunque a rappresentare percorsi privilegiati di trasmissione dell'energia cinetica.

Come si vede queste soluzioni progettuali presentano sia vantaggi che svantaggi e questo è il motivo per cui la normativa europea non ha mai recepito le prescrizioni dello Std. USA 214 (parte statica).

Ad ulteriore integrazione di queste considerazioni va detto che non esistono evidenze statistiche che permettano di affermare senza ombra di dubbio che l'implementazione della parte statica dello Std. Usa 214 abbia indotto un aumento significativo e quantificabile delle prestazioni di sicurezza passiva in urto laterale sul mercato americano.

Una seconda domanda che sorge spontanea leggendo gli sviluppi storici che hanno condotto all'ottimizzazione strutturale in urto laterale concerne l'effi-

cacia specifica dello Std. USA 214 (parte dinamica) e del regolamento ECE/ONU n. 95 nel forzare soluzioni progettuali adeguate a migliorare gli standard di sicurezza.

Per quanto riguarda la normativa ECE/ONU n. 95 la risposta sembra abbastanza semplice: esiste chiaramente un collegamento diretto tra un'impostazione razionale del problema dell'ottimizzazione strutturale in termini di profilo di intrusione e quanto risulta operativamente necessario per passare le prescrizioni biomeccaniche della normativa. È quindi possibile concludere che l'implementazione della normativa ECE/ONU n. 95 dovrebbe condurre a miglioramenti misurabili delle prestazioni di sicurezza passiva in urto laterale sul mercato europeo.

Per quanto riguarda invece lo Std. USA 214 parte dinamica questo collegamento tra linee guida di ottimizzazione strutturale e quanto risulta operativamente necessario per superare le prescrizioni dello standard è ben più difficile se non impossibile da identificare. In particolare l'estrema rigidità della barriera utilizzata per equipaggiare il carrello che rappresenta la vettura urtante tende a "nascondere" la capacità degli elementi strutturali della scocca di deformare in modo ottimale. Infatti la rigidità della barriera tende essa stessa a "distribuire" la deformazione ed in particolare a concentrare quote importanti di energia in corrispondenza delle zone adiacenti ai montanti A e C. Lo Std. USA 214 parte dinamica sembra più adatto a guidare l'ottimizzazione dei rivestimenti interni di carrozzeria. Infatti imponendo limiti biomeccanici basati sostanzialmente su valori di accelerazione esalta la funzione dei rivestimenti interni di scocca e della loro capacità di "filtrare" i picchi di accelerazione.

Per tutte le considerazioni presentate precedentemente, nel seguito di questa trattazione il regolamento ECE/ONU n. 95 verrà considerato riferimento per l'ottimizzazione strutturale.

L'aspetto di ottimizzazione strutturale finora analizzato non esaurisce di certo tutte le problematiche relative alla sicurezza passiva in urto laterale.

AmMESSO di aver realizzato la struttura in modo da minimizzare il contenuto di energia cinetica trasmessa da porte/montante/fianchetti agli occupanti, restano da analizzare tutte le misure da assumere per poter minimizzare i criteri lesivi e quindi i danni agli occupanti.

Sempre all'inizio degli anni 90 un'intensa attività di progettazione e di sperimentazione mise in evidenza, relativamente alla problematica di superare le prescrizioni del futuro regolamento ECE/ONU n. 95, i seguenti fatti:

- l'ottimizzazione strutturale era pre-condizione necessaria per poter superare il test. In presenza di profili di deformazione non ottimizzati secondo quanto presentato in figura 4 non vi era alcuna speranza di limitare adeguatamente i valori biomeccanici agendo sui soli rivestimenti interni o equipaggiando il veicolo di *airbag* laterali;
- a profilo di deformazione ottimizzato risultava comunque necessario progettare con attenzione il bracciolo del pannello interno porta in modo da non ingenerare valori biomeccanici anomali a livello di addome. Al di fuori di questa cautela progettuale altri parametri legati al rivestimento interno della por-

ta giocavano un ruolo secondario per migliorare ulteriormente i valori biomeccanici;

- l'aggiunta di *airbag* toracici poteva ottimizzare ulteriormente i criteri biomeccanici relativi a questo specifico segmento corporeo, sempre nell'ipotesi di un corretto profilo di deformazione.

Si noti come comunque anche il regolamento ECE/ONU n. 95 presenti un punto debole molto rilevante: non mette in evidenza le specifiche problematiche di lesioni alla testa che sono presenti in modo drammatico nei dati incidentologici.

Sempre all'inizio degli anni 90 apparve quindi chiaro che oltre a sviluppare i veicoli ottimizzandoli strutturalmente secondo le linee guida descritte precedentemente e considerando il regolamento ECE/ONU n. 95 come riferimento tecnico era anche necessario prestare ulteriore attenzione alle problematiche di ritenuta, sviluppando ulteriori configurazioni di prova in grado di evidenziare i meccanismi lesivi specificatamente relativi alla testa.

Tenendo conto di tutte queste considerazioni è ora il caso di approfondire la tematica dei sistemi di ritenuta in urto laterale che si sono sviluppati ed imposti sul mercato con grandissima velocità.

Avendo già affermato che le cinture di sicurezza svolgono un ruolo secondario in urto laterale è chiaro che l'attenzione è stata fin dall'inizio degli anni 90 concentrata sull'applicazione degli *airbag* alla protezione degli occupanti in urto laterale.

Lo sviluppo tecnico sarà nel seguito descritto per stadi successivi rispettando l'evoluzione cronologica effettiva:

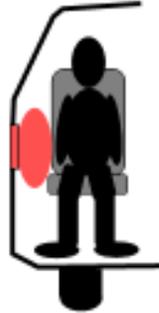
- **step 1 (inizio anni 90): *airbag* toracici posizionati nel pannello porta** (figura 25).

Urto Laterale: L'evoluzione Storica dei Sistemi di Ritenuta

STEP 1 (Inizio anni '90)

air bags toracici posizionati nel pannello porta

Air Bag toracico
posizionato nel
pannello porta



PROBLEMI APERTI

- Non viene affrontata l'importante tematica della protezione della testa.

- volume di circa 6 litri
- presenti ancor oggi sul mercato
- finalizzati a garantire un corretto assorbimento di energia a livello toracico ed addominale

Figura 25

Questi *airbag*, di limitate dimensioni (circa 6 litri), furono i primi a comparire per iniziativa di due costruttori tedeschi di vetture di alta gamma.

Sono presenti ancor oggi sul mercato e la loro finalità è di garantire un corretto assorbimento di energia a livello toracico e addominale.

Il modulo *airbag* è contenuto all'interno del pannello porta. Il coperchio si apre verso l'interno del veicolo ed il *bag* si gonfia in direzione trasversale. Un volume di circa 6 litri si è dimostrato la scelta più opportuna per ottimizzare i criteri biomeccanici a torace ed addome minimizzando al contempo il contenuto energetico del generatore di gas.

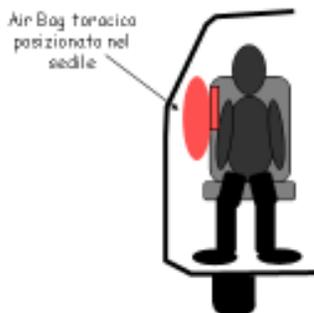
Questo tipo di *airbag* non svolge alcun ruolo significativo per la protezione della testa e quindi non risponde alla problematica più importante in urto laterale;

- **step 2 (inizio anni 90): *airbag* toracici posizionati nel fianchetto dello schienale sedile** (figura 26).

Urto Laterale: L'evoluzione Storica dei Sistemi di Ritenuta

STEP 2 alternativo e *non* evolutivo rispetto a STEP 1 (Inizio anni '90)

air bags toracici posizionati nel fianchetto del sedile



PROBLEMI APERTI

- + Non viene affrontata l'importante tematica della protezione della testa.

- volume di circa 6 litri
- rappresenta oggi la principale tipologia di air bags per la protezione del torace in urto laterale
- finalizzati a garantire un corretto assorbimento di energia a livello toracico ed addominale

Figura 26

Si tratta di *airbag* con funzione analoga a quelli descritti precedentemente dai quali si differenziano per il loro posizionamento in vettura.

Anche questa seconda categoria di *airbag* è esclusivamente finalizzata a garantire un corretto assorbimento di energia a livello toracico/addominale.

Il volume è sempre di circa 6 litri. Il coperchio del *bag* è montato sul fianco esterno dello schienale del sedile e si apre verso il montante B. Il sacco si gonfia in direzione prevalentemente longitudinale verso il pannello porta anteriore.

Questo secondo **step** si presenta quindi come **alternativo** e **non evolutivo rispetto allo step 1**.

Vale la pena di presentare brevemente **vantaggi e svantaggi delle due alternative** rappresentate dagli *airbag* toracici descritti agli step 1 e 2:

- la soluzione di *bag* toracico montato nella porta presenta il vantaggio di garantire in modo più sicuro il corretto gonfiaggio del sacco ed il suo posizionamento tra il rivestimento della porta ed i segmenti corporei dell'occupante. Infatti la traiettoria di apertura è diretta e tende a gonfiare in *bag* nell'intercapedine che verrà riempita dal sacco stesso una volta che questo risulterà gonfiato. Al contrario il *bag* toracico montato nello schienale del sedile presenta una traiettoria di gonfiaggio più indiretta e potenzialmente critica. Infatti durante il gonfiaggio il sacco deve riuscire ad infilarsi tra il braccio dell'occupante (la cui posizione esatta non è prevedibile a priori) e il montante B/porta anteriore. È quindi possibile che la traiettoria

- venga "disturbata" da ostacoli non previsti e quindi la posizione finale del *bag* stesso risulti diversa da quanto previsto a disegno;
- la soluzione di *bag* toracico montato nella porta presenta lo svantaggio di richiedere l'apertura del *cover* verso l'occupante, con potenziali effetti lesivi in caso di *out of position* (segmenti corporei dell'occupante stesso in prossimità del pannello porta al momento dell'apertura del *bag*). Questa potenziale criticità è del tutto assente nel caso di *bag* toracico montato nel fianchetto dello schienale del sedile.

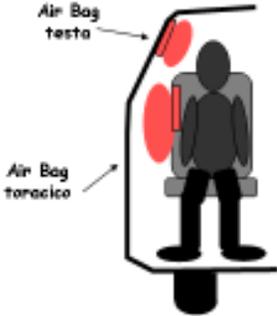
I dati incidentologici legati all'utilizzo operativo di queste due soluzioni non hanno evidenziato aspetti che possano far propendere in modo chiaro per una delle due tipologie di *bag* toracico che possono quindi essere considerate come equivalenti.

Anche l'*airbag* toracico montato nel fianchetto dello schienale del sedile non svolge alcun ruolo significativo per la protezione della testa e quindi non risponde alla problematica più importante in urto laterale;

- **step 3 (seconda parte degli anni 90): *airbag* finalizzati alla protezione della testa in urto laterale** (figura 27). Nel tempo sono apparse diverse soluzioni tecniche. Quella che si è ormai affermata è la soluzione a tendina che si estende per l'intera fiancata interna del veicolo, dal montante A al montante C (volumi di 8-10 litri).

Urto Laterale: L'evoluzione Storica dei Sistemi di Ritenuta

STEP 3 (Seconda metà degli anni 90): *air bags* a tendina a protezione della testa in abbinamento all' *air bag* a protezione del torace (nel sedile o nel pannello porta)



Air Bag testa

Air Bag toracico

- volume dell'*air bag* toracico di circa 6 litri
- volume dell'*air bag* testa di circa 8/10 litri
- questa tipologia di protezione si sta rapidamente imponendo sulle vetture di attuale commercializzazione
- risponde all'esigenza di garantire un corretto assorbimento di energia in corrispondenza a tutti i segmenti corporei maggiormente esposti in urto laterale.

Figura 27

Si tratta di un *airbag* a cortina, posizionato a riposo all'interno del rivestimento interno della traversina laterale sottotetto, gonfiato da un generatore di gas installato o nel montante A o nel montante C. Il coperchio del *bag* è il rivestimento stesso della traversina sottotetto e si apre verso l'interno del veicolo. Il

bag viene gonfiato con traiettoria verso il basso in modo da interporre tra la testa degli occupanti (sia passeggeri anteriori che passeggeri posteriori) e la fiancata interna del veicolo (traversa sottotetto, vetri laterali, montanti).

È questo un componente di sicurezza chiave in urto laterale e le analisi incidentologiche hanno già messo in evidenza la sua efficacia per ridurre le lesioni gravi o mortali alla testa. La sua applicazione è di solito abbinata al *bag* laterale toracico.

Data l'importanza di questo componente ed il suo notevole livello di applicazione nei veicoli di attuale commercializzazione si intende nel seguito presentare in dettaglio le fasi con cui è stato sviluppato e le tematiche tecniche che si sono dovute superare.

La prima tipologia di *airbag* laterale per la protezione della testa venne sviluppata tra la fine degli anni 80 e l'inizio degli anni 90. Si trattava di una tipologia di sacco profondamente diversa da quella a tendina descritta precedentemente ed attualmente applicata in modo estensivo. Questo "precursore" degli attuali *bag* laterali aveva una sezione sostanzialmente cilindrica e si sviluppava dal montante A al montante B proteggendo solo il guidatore ed il passeggero anteriore. In posizione gonfiata il *bag* risultava vincolato solo agli estremi, presentava asse rettilineo ed inclinato in modo da posizionare le proprie sezioni sempre più in alto arretrando in direzione longitudinale. Si trattava quindi di un *bag* "tubolare".

Due **problemi tecnici importanti** si presentarono agli ingegneri che svilupparono questo componente di sicurezza:

- identificare standard di prova che mettessero in evidenza le prestazioni del componente nei confronti della protezione della testa in urto laterale;
- rendere commercializzabile il sistema in USA dove l'evoluzione dello Std. 201 relativo agli interni imponeva livelli di assorbimento di energia alla traversina sottotetto non compatibili con la presenza del componente a *bag* non attivato.

La soluzione del primo problema portò in modo naturale anche alla soluzione del secondo.

Come già detto né lo Std. USA 214 (parte dinamica) né il regolamento ECE/ONU n. 95 mettono in evidenza le problematiche di lesioni alla testa che rappresentano la criticità principale negli urti laterali reali. Infatti:

- lo Std. USA 214 (parte dinamica) non prevede alcun criterio biomeccanico relativo alla testa;
- né la conformazione del manichino USA né quella del manichino europeo consentono di riprodurre i movimenti reali della testa in urto laterale. Ci si riferisce in primo luogo alla forte propensione della testa a sporgere verso il finestrino/esterno del veicolo e quindi ad intercettare potenziali oggetti contundenti. La rigidità delle spalle dei manichini non permette che questo fenomeno venga ad evidenziarsi nelle prove di normativa;
- per evidenziare valori biomeccanici importanti è comunque necessario simulare un impatto della testa contro un oggetto intrudente. Questo fenomeno non è previsto dalle normative USA ed ECE.

Era quindi chiaro che bisognava identificare una configurazione diversa di prova che, nel più semplice modo possibile, mettesse in evidenza l'effettiva protezione garantita alla testa dal nuovo componente in sviluppo.

La scelta che si decise di perseguire fu quella di "inventare" un test in cui veniva riprodotto l'urto di un palo contro la fiancata del veicolo a velocità tali da generare l'apertura dei *bag* laterali.

Naturalmente la traiettoria del palo risultava collidere con la testa e quindi evidenziava problematiche di criteri biomeccanici molto serie per questo segmento corporeo.

La configurazione prescelta fu la seguente:

- la vettura viene montata su di un carrello rigido e lanciata trasversalmente contro un palo fisso a circa 29 km/h (18 mph);
- la traiettoria del palo risulta impattare esattamente la testa del guidatore;
- il manichino utilizzato è il manichino europeo oppure il manichino americano.

Si verificò immediatamente che si evidenziavano in questo test, in assenza di *airbag* per la protezione della testa in urto laterale, livelli di HIC (criterio di protezione della testa) di molto superiori (4.000-7.000) a quanto solitamente considerato come valore biomeccanico accettabile (1.000).

Era quindi chiaro che, nonostante i limiti intrinseci ai manichini europeo ed americano relativi al moto del sistema collo/spalle, si era riusciti ad identificare una procedura in grado di mettere in evidenza le lesioni testa.

Questo test fu quindi assunto come riferimento per la messa a punto del *bag* tubolare che risultò pronto per le applicazioni in vettura all'inizio degli anni 90. L'ottimizzazione del *bag* tubolare portò ad evidenziare la possibilità di ridurre i valori di HIC (criterio lesivo per la testa) al di sotto del limite di 1.000 e quindi mise in evidenza le enormi potenzialità di questa soluzione tecnica.

Anche gli attuali *bag* a cortina presentano *performance* analoghe.

Risolto quindi il problema di identificare la configurazione di prova in grado di guidare gli sviluppi tecnici del *bag* testa per la protezione in urto laterale restava da risolvere la problematica di rendere il componente vendibile in USA nonostante le prescrizioni dello Std. USA 201, non compatibili con i livelli di assorbimento di energia della zona della traversina laterale sottotetto a *bag* non attivato.

La strategia perseguita dagli ideatori del *bag* tubolare fu quella di presentare all'NHTSA le enormi potenzialità del nuovo componente evidenziando che comunque la sua attivazione a velocità inferiori alle 18 mph non giustificavano i test richiesti dallo Std. USA 201.

L'NHTSA accettò le considerazioni presentate e modificò lo Std. USA 201 riducendo la velocità del simulacro testa che urta i rivestimenti interni in modo da rendere certificabile il componente anche in USA.

Vale la pena inoltre ricordare che in alcune tipologie di veicoli (es. i *cabrio* e gli *spider*) l'*airbag* laterale per la protezione della testa non è montabile a causa della mancanza della traversina laterale sotto tetto.

Per questi veicoli alcune case costruttrici hanno sviluppato dei *bag* toracici estesi verso l'alto (volumi di 8-10 litri) finalizzati a tentare di proteggere anche il segmento testa.

È utile sottolineare nuovamente che la protezione della testa è l'aspetto fondamentale in urto laterale e quindi che l'apparizione degli *airbag* a tendina ha rappresentato veramente un salto qualitativo importante nella protezione degli occupanti in urto laterale.

3.4 La sensoristica per i sistemi di ritenuta in urto laterale

La messa a punto della sensoristica per l'attivazione dei sistemi di ritenuta in l'urto laterale è stata una delle sfide tecniche più importanti vinte in questi ultimi anni.

L'urto laterale è infatti una tipologia di impatto in cui non vi sono importanti spazi disponibili prima del contatto tra l'occupante e la fiancata del veicolo. Questo significa che l'attivazione degli *airbag* per l'urto laterale deve avvenire in modo molto rapido per consentire ai sacchi stessi di gonfiarsi completamente prima che avvengano significative deformazioni con intrusioni di componenti della fiancata della vettura.

Contrariamente alla sensoristica in urto frontale la sensoristica in urto laterale non ha in realtà avuto evoluzioni storiche veramente rilevanti.

È quindi possibile, pur con un minimo di semplificazione, limitarsi a descrivere la tipologia del sistema di attivazione attualmente più diffuso sul mercato (figura 28).

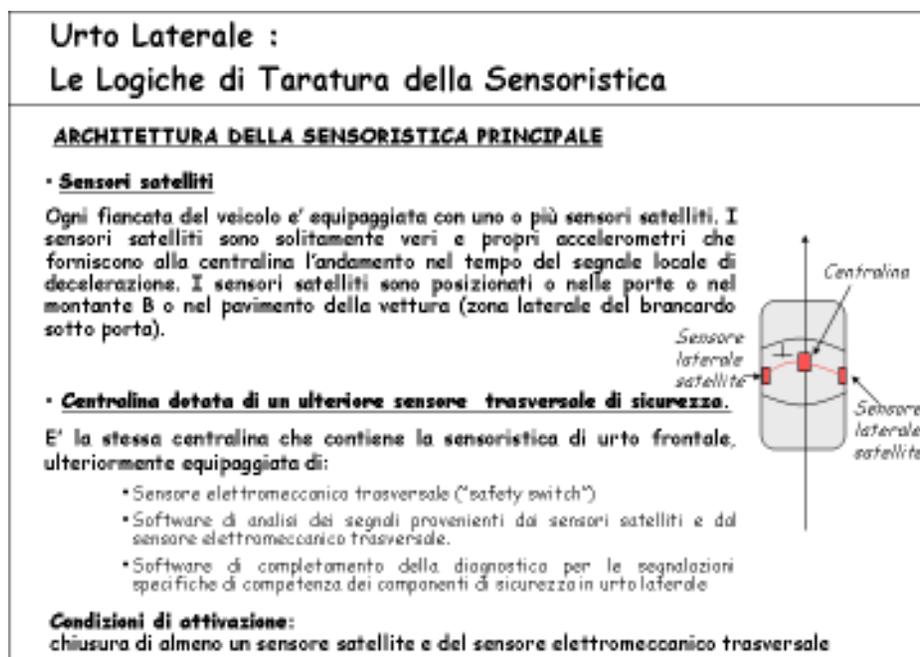


Figura 28

Questi sono i componenti che costituiscono la sensoristica di attivazione degli *airbag* laterali:

- **sensori satelliti.** Ogni fiancata del veicolo è equipaggiata con uno o più sensori satelliti destinati a segnalare l'accadimento di un urto con la massima celerità possibile.

I sensori satelliti sono solitamente veri e propri accelerometri che forniscono alla centralina (che sarà nel seguito descritta) l'andamento nel tempo del segnale locale di decelerazione.

Il numero di sensori satelliti è di solito pari ad uno per fiancata. In alcuni veicoli (soprattutto SUV) i sensori satelliti non sono presenti grazie alla particolare struttura e posizione del pavimento della vettura che consente di trasmettere i segnali di decelerazione con molta celerità alla zona del tunnel. In altri veicoli i sensori satelliti possono essere anche più di uno per fiancata.

I sensori satelliti sono posizionati o nelle porte o nel montante B o nel pavimento della vettura/zona laterale del brancardo sottoporta;

- **centralina dotata di un ulteriore sensore di sicurezza.** Questo componente è la medesima centralina posizionata sulla parte anteriore del tunnel centrale e destinata a coordinare l'elaborazione dei dati per la sensoristica in urto frontale.

Qualora questa centralina dovesse comandare anche *airbag* laterali viene ulteriormente equipaggiata del seguente hardware e software:

- un sensore elettromeccanico trasversale destinato a funzionare da "*safety switch*" contro le attivazioni involontarie. In alcuni casi questo sensore è sostituito da un vero e proprio accelerometro trasversale (quest'ultima scelta è indispensabile in assenza di sensori satelliti);
- un software di analisi dei segnali provenienti dai sensori satelliti e dal sensore elettromeccanico trasversale centralizzato in grado di elaborare i segnali stessi e di dare il consenso di attivazione qualora necessario. Si noti che la chiusura del sensore elettromeccanico trasversale è condizione necessaria seppur non sufficiente per l'attivazione;
- un software di completamento della diagnostica che implementi tutte le segnalazioni specifiche di competenza dei componenti di sicurezza in urto laterale.

Come si vede la sensoristica in urto laterale non ha un hardware completamente indipendente da quella in urto frontale.

La centralina posizionata sulla parte anteriore del tunnel centrale rappresenta in realtà il "cervello" di entrambi i sistemi e gestisce in modo integrato l'attivazione di tutti i componenti di sicurezza.

3.5 Le logiche di taratura della sensoristica in urto laterale

Di seguito si intende fornire alcuni rudimenti sulle metodologie di taratura dei sensori per urto laterale.

Nel caso di attivazione **tutti** gli *airbag* laterali della fiancata interessata dall'urto vengono attivati a meno di specifiche informazioni provenienti dai sensori secondari che verranno descritte nel seguito (disattivazioni specifiche).

Si può comunque affermare che, allo stato dell'arte, la situazione più complessa è quella in cui sono presenti:

- due *airbag* toracici frontali posizionati nelle porte o nei sedili,
- due *airbag* toracici posteriori posizionati nelle porte o nei sedili,
- due *airbag* a tendina posizionati all'interno del rivestimento delle due traversine laterali sottotetto.

Evidentemente queste brevi note possono solo fornire un'idea sommaria dei test necessari per tarare una sensoristica di urto laterale. Si spera però che possano rappresentare un'utile introduzione per ulteriori approfondimenti possibili nella letteratura specializzata.

Evidentemente la centralina posizionata sulla parte anteriore del tunnel (equipaggiata di ulteriori sensori satelliti decentrati come descritto precedentemente) è dotata di un software di analisi dei dati a cui è necessario "insegnare" a distinguere diverse situazioni. A tal fine vengono definite delle "categorie" in corrispondenza delle quali vengono condotti test e vengono ricavati diagrammi di decelerazione. Sulla base di queste informazioni il software della centralina viene opportunamente "tarato" al fine di "interpolare e generalizzare" le informazioni fornite per i set limitati di dati disponibili.

Quali sono quindi queste "categorie di decelerazioni" in corrispondenza delle quali vengono compiuti i test di calibrazione? Nel seguito se ne sintetizzano le definizioni e le logiche:

- situazioni di *no fire* per gli *airbag* laterali. Si tratta di quelle configurazioni nelle quali la **non attivazione** degli *airbag* laterali deve essere garantita. Sono sostanzialmente decelerazioni corrispondenti alle medesime condizioni di "*rough road*" assunte per i pretensionatori e gli *airbag* frontali e di uno o più test a bassa velocità di urto laterale (es. configurazione del regolamento ECE/ONU n. 95 a 12-14 km/h);
- condizioni di *must fire* per gli *airbag* laterali. Si tratta di quelle configurazioni nelle quali la **certa attivazione** degli *airbag* laterali deve essere garantita. Consistono solitamente in una o più configurazioni di urto laterale a bassa velocità (es. configurazione del regolamento ECE/ONU n. 95 a 18-20 km/h);
- condizioni di corretto funzionamento ad alta velocità degli *airbag* laterali. Si tratta di tutte quelle configurazioni di urto laterale ad alta velocità/ alta energia in cui gli *airbag* laterali si devono attivare con una sufficiente repentinità (es. regolamento ECE/ONU n. 95, Std. USA 214 (parte dinamica), *rating* SINCAP, urto trasversale contro palo a 29 km/h ecc.). Si tratta quindi di verificare in queste configurazioni che il sistema di ritenuta venga attivato con una velocità sufficiente da poter consentire agli *airbag* il loro completo gonfiaggio lateralmente agli occupanti.

Le configurazioni d'urto citate in corrispondenza di ogni "categoria di decelerazione" hanno evidentemente carattere indicativo in quanto ogni casa automobilistica, in assenza di una legislazione specifica di riferimento, adotta test propri. Ciò non toglie che i livelli di severità d'impatto qui citati rappresentano un'ottima approssimazione di quanto avviene in realtà nella messa a punto della sensoristica per gli *airbag* laterali.

In ogni caso si tratta di un "insieme di configurazioni" molto complesso che implica la realizzazione pratica di una notevole serie di test sia per ricavare i dia-

grammi di decelerazione che consentono la taratura della centralina che poi per verificare materialmente il corretto funzionamento della stessa (figura 29).

<p>Urto Laterale : Le Logiche di Taratura della Sensoristica</p> <p><u>CATEGORIE DI DECELERAZIONI</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Situazione di NO FIRE per gli air bags laterali ("rough road" e uno o piu' test a bassa velocita' di urto laterale)• Condizioni di MUST FIRE per gli air bags laterali (uno o piu' test a bassa velocita' di urto laterale)• Condizioni di corretto funzionamento ad alta velocita' (tempi di attivazione) degli air bags laterali (più configurazioni di urto laterale ad elevata velocità) <p> <i>Per lo sviluppo di una vettura berlina di un'unica versione (es. 5 porte) è necessario l'utilizzo di circa 5-6 prototipi di 10-15 veicoli di verifica processo e di altrettanti veicoli di preserie.</i></p>
--

Figura 29

Come si vede lo sforzo in sede di progettazione e sperimentazione è notevole, tralasciando qui tutta la tematica delle simulazioni matematiche che danno un considerevole aiuto alla corretta definizione delle tarature.

Per completare la descrizione della metodologia di taratura della centralina per la parte di competenza dei *bag* laterali si intendono ora fornire alcune informazioni di massima sul funzionamento dei software di analisi dei segnali/decisione su attivazione o non attivazione dei componenti di sicurezza.

Per semplificare la trattazione si farà riferimento ad una configurazione caratterizzata da un accelerometro lineare satellite per ogni fiancata (oltre che dal "safety switch" trasversale nella centralina stessa). Va inoltre sottolineato che la metodologia di analisi del segnale qui riportata è puramente esemplificativa ed ogni casa costruttrice di elettronica per i componenti di sicurezza adotta tecnologie specifiche che possono differire in modo sostanziale da quanto qui descritto.

Ciò non toglie che questa trattazione permette di capire le problematiche insite nella taratura delle centraline per gli *airbag* laterali e quindi di apprezzarne le metodologie di funzionamento.

Il punto chiave da cui deve partire l'analisi è la necessità per questi algoritmi di essere **predittivi**. Inoltre nel caso di attivazione dei *bag* laterali la rapidità di valutazione gioca un ruolo chiave data la ristrettezza dei tempi disponibili per gonfiare correttamente i *bag* prima di intrusioni strutturali importanti.

Mentre nei casi di *no fire* la centralina deve capire durante tutto l'urto, fino alla fine dello stesso, che non si stiano verificando condizioni tali da attivare gli *airbag*, nei casi di *fire* la situazione impone alla centralina di capire precocemente l'esigenza di attivazione dei componenti di sicurezza, che devono svolgere in tempo la loro azione.

Questo è il motivo per cui gli algoritmi di attivazione dei *bag* laterali, in modo analogo a quanto già visto per i componenti di sicurezza in urto frontale, non possono basarsi esclusivamente o principalmente sui delta di velocità ma devono invece analizzare con attenzione le caratteristiche del profilo di decelerazione, l'unico che può dare delle indicazioni su come continuerà a svilupparsi l'impatto. La specifica necessità di rapidità di analisi obbliga poi, nel caso di sensoristica per urto laterale, a posizionare i sensori satelliti in zona prossima all'impatto in quanto i fenomeni devono essere rilevati con il massimo dell'accuratezza e velocità.

In ogni istante t^* durante l'impatto la centralina è in grado di valutare, sulla base del segnale del sensore satellite del lato urtato:

- il delta di velocità raggiunto fino a quel punto come integrale del profilo di decelerazione detto Dv^* ,
- la decelerazione media am^* pari a Dv^*/t^* ,
- ogni altro valore di decelerazione "caratteristica" calcolata con specifici algoritmi sulla base della curva di decelerazione nota fino a quel punto.

Limitandosi a considerare Dv^* e am^* questi valori sono valutati in ogni t^* durante l'urto.

A questo punto è possibile definire, in un diagramma am/Dv , sulla base dei dati ottenuti in fase di calibrazione, con le categorie di decelerazione definite in precedenza, un "confine di attivazione" nello spazio am/Dv che abbia le seguenti caratteristiche:

- in corrispondenza di tutte le configurazioni di *no fire* il percorso del punto di coordinate am^*/Dv^* non raggiunge mai il confine di attivazione e quindi non consente mai l'attivazione degli *airbag*;
- in corrispondenza di tutte le configurazioni di *must fire* il percorso del punto di coordinate am^*/Dv^* raggiunge il confine di attivazione e quindi consente l'attivazione degli *airbag*;
- in corrispondenza di tutte le configurazioni di *must fire* in cui è richiesta un'attivazione entro un tempo massimo dettato dalla necessità per i componenti di sicurezza di svolgere il loro ruolo, il raggiungimento del confine di attivazione avviene entro il termine assegnato.

Come si vede si tratta di richieste molto stringenti. Il confine di attivazione viene stabilito sulla base dei dati di calibrazione (cioè effettuando tutti i test sulle categorie di decelerazione e quindi stabilendo il confine stesso). Il risultato viene poi controllato operativamente installando centraline dotate del sensore calibrato (cioè equipaggiato dell'algoritmo di calcolo e del confine di attivazione) e verificando le corrette attivazioni/non attivazioni/tempi di attivazione ripetendo i test sulle categorie di decelerazione.

Vale la pena di citare il fatto che questa filosofia di calibrazione è del tutto analoga a quanto avviene per pretensionatori ed *airbag* frontali. Va però detto che le specifiche esigenze di rapidità di attivazione che si evidenziano per le configurazioni di urto laterale ad alta velocità impongono spesso di elaborare le decelerazioni in modo complesso, non limitandosi affatto all'analisi del valore di decelerazione media.

3.6 Cenni ad ulteriori problematiche relative ai sistemi di ritenuta in urto laterale

Il quadro precedentemente presentato deve essere completato facendo almeno cenno ad alcune problematiche ancora aperte relativamente alla protezione degli occupanti in urto laterale.

Si tratta sostanzialmente delle stesse due tematiche già affrontate nel caso dell'urto frontale ma la cui rilevanza è qui significativamente minore:

- problematiche di *"out of position"*. Si tratta delle lesioni provocate dall'attivazione stessa degli *airbag* laterali qualora l'occupante sia in prossimità del punto di apertura al momento dell'attivazione.

Va detto che questa problematica, significativa negli urto frontale, è molto più contenuta nel caso degli *airbag* laterali. Infatti i volumi dei sacchi sono più limitati (da un minimo di 5-6 litri per i *bag* toracici ad un massimo di 8-10 litri per i *bag* a tendina) e quindi rilasciano un'energia di molto inferiore.

Per questo motivo non esistono attività tecniche relative allo sviluppo di *bag* con doppia energia di attivazione come precedentemente descritto per gli *airbag* frontali;

- utilizzo di sedili bambini in corrispondenza ad *airbag* laterali. Vale in questa situazione lo stesso commento precedentemente visto per le problematiche di *"out of position"*.

Il volume ridotto degli *airbag* laterali rende le problematiche di compatibilità con la presenza di sedili bambini molto meno significative.

Moltissimi test di questo tipo condotti in laboratorio hanno confermato che i sedili bambini possono essere utilizzati in corrispondenza di posti a sedere equipaggiati di *airbag* laterali.

Solo in rari casi è possibile reperire in commercio vetture che presentano una specifica chiavetta di disattivazione del *bag* toracico posteriore (e solo di quello). È prevalente l'opinione tecnica che questo componente non sia indispensabile.

3.7 La sensoristica secondaria per i sistemi di ritenuta in urto laterale

La sensoristica secondaria per i sistemi di ritenuta in urto laterale è quella destinata a risolvere situazioni specifiche al di là del normale funzionamento del sistema stesso (figura 30).

Urto Laterale : Le Logiche di Taratura della Sensoristica

SENSORISTICA SECONDARIA

- Chiavetta di attivazione dell'air bag toracico posteriore
- + Sensore presenza passeggero anteriore.

In assenza di passeggero l'air bags toracico anteriore viene automaticamente disattivato

Figura 30

I principali componenti che possono essere definiti "**sensoristica secondaria**" sono:

- **chiavetta di disattivazione dell'airbag toracico posteriore.** Si tratta di una "serratura" solitamente posizionata nella parte posteriore dell'abitacolo che consente, utilizzando consciamente la chiave di accensione, di disattivare l'airbag toracico posteriore;
- **sensore presenza passeggero anteriore.** Questo componente, di notevole diffusione sul mercato, consente (anche) di disattivare l'airbag toracico anteriore del lato passeggero in assenza del passeggero stesso.