

Andrea Boerio

Matricola 505534

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Il pneumatico radiale motociclistico

in ambito stradale e sportivo



Anno Accademico 2004/2005

Questa tesina raccoglie le idee sul tema dei pneumatici per motocicletta, in particolare quelli realizzati con la tecnologia radiale. E' stata una occasione per approfondire le conoscenze di chi scrive, senza pretendere di inventare nulla, e per allacciare rapporti con enti e società del settore. Il risultato è composto da una serie di spunti fruibili da un pubblico abbastanza vasto. Sono state inserite note storiche, basi di teoria ed aspetti tecnici e normativi. Al lettore viene proposto di riflettere innanzi tutto sul perché si utilizzino i pneumatici e su cosa si chieda loro, poi sul perché si sia giunti all'architettura radiale, ed infine sulle molteplici varianti realizzate dai vari costruttori, pur tutti con uno scopo comune. Si è tentato di fornire tutti i riferimenti necessari per portare avanti ulteriori approfondimenti.

Indice.

Introduzione.....	3
1 Un po' di storia.	4
2 La funzione del pneumatico nella motocicletta sportiva.....	5
2.1 Compiti.	5
2.2 Generazione delle forze.	8
2.3 Effetti collaterali insiti nella tecnologia.	13
3 Pneumatici convenzionali e radiali.....	15
3.1 Confronto tra le tecnologie.....	16
4 Il pneumatico radiale: descrizione e stato dell'arte.....	20
4.1 Classificazione, dimensioni e marcatura.....	20
4.2 Struttura.....	26
4.3 Mescola.....	30
4.4 Profilo.....	32
4.5 Disegno.....	33
Conclusioni.....	35
Indice delle tabelle e delle figure.....	36

<i>Bibliografia</i>	37
<i>Volumi</i>	37
<i>Articoli</i>	37
<i>Normative e Linee Guida</i>	37
<i>Siti web</i>	38

Introduzione.

Il presente lavoro vuole essere una occasione per approfondire l'argomento indicato nel titolo. Si pone l'attenzione in modo particolare ai pneumatici radiali realizzati per le motociclette sportive, destinate all'utilizzo su strada o in pista.

Tutto nasce dalla passione di chi scrive per il motociclismo sportivo, e di conseguenza per tutti gli aspetti tecnici che lo riguardano. L'intenzione, un po' ambiziosa, era quella di realizzare una sorta di mini guida di taglio non strettamente accademico. Si è cercato di:

- raccogliere le idee sulle basi di teoria;
- fornire i riferimenti necessari per eventuali approfondimenti;
- fare un punto della situazione sullo stato dell'arte di questa tipologia di pneumatici.

Il tipo di pubblico che si è immaginato è un pubblico di appassionati, tecnici ed amici che abbiano già conoscenze di tecnica motociclistica di base e del gergo tecnico.

1 Un po' di storia.

Nel 1888 John Boyd Dunlop, un veterinario di Belfast, applicò alle ruote del triciclo del figlio dei sottili fogli di gomma incollati tra loro e li gonfiò con una pompa da pallone. Ottenne un effetto cuscinetto tale da migliorare il confort di marcia del mezzo ed inventò così il primo pneumatico potenzialmente commerciabile. Depositò il brevetto e diede inizio alla sua avventura industriale.

L'effetto fu rivoluzionario, e tale da indirizzare alcune altre società ad investire nello sviluppo di nuove applicazioni. Si dovette però attendere ancora qualche anno affinché le ruote in gomma piena, comunemente usate al tempo, venissero sostituite da quelle con pneumatici in tutte le loro applicazioni. Le biciclette, dalle quali nacquero i motocicli, e le prime automobili, iniziarono ad essere dotate di pneumatici con camera d'aria e battistrada a partire dai primi anni del '900. Da quel momento in poi l'evoluzione è stata continua.

Negli anni trenta si videro i primi studi di pneumatici con camera d'aria incorporata, antenati degli odierni *tubeless*, mentre la tecnologia *radiale* ha iniziato a far parlare di se a partire dalla metà del secolo. Fu infatti della Michelin, nel 1946, il primo brevetto di un pneumatico radiale per auto, denominato X, nel quale la tradizionale carcassa a tele incrociate veniva sostituita dalla nuova struttura radiale. Successivamente ogni produttore ha seguito la sua strada per migliorare l'idea.

Per quel che riguarda le applicazioni in ambito motociclistico, si iniziò a parlare di tecnologia *tubeless* a partire dagli anni '70. Si dovette invece attendere sino agli anni '90 per l'entrata in produzione dei primi pneumatici radiali per motocicletta. La loro diffusione è naturalmente poi stata inarrestabile anche in questo settore.

Il resto è storia dei nostri giorni.

2 La funzione del pneumatico nella motocicletta sportiva.

Per poter discutere in modo proficuo dei vantaggi di una tecnologia, è importante avere ben chiare le esigenze che questa deve soddisfare. Si ritiene quindi utile proporre una riflessione sugli aspetti teorici più elementari che caratterizzano il funzionamento di un pneumatico motociclistico. In questo modo potranno essere comprese meglio le scelte operate dai vari costruttori. Vi sono alcune domande a cui porre risposta:

- Cosa si chiede ad un pneumatico per motocicletta?
- Come può svolgere il lavoro richiesto?
- Quali effetti indesiderati apporta al comportamento complessivo del veicolo?

Non è questa la sede per operare una trattazione troppo pesante dell'argomento, tra l'altro ampiamente sviscerato in letteratura. Si vogliono qui solo fissare le idee di base. Si rimanda il lettore, eventualmente interessato ad ulteriori approfondimenti, ai testi specialistici indicati in bibliografia, nei quali potrà trovare sviluppi analitici più completi.

2.1 Compiti.

Un pneumatico principalmente deve:

- sostenere il carico nelle varie condizioni di marcia;
- permettere di trasferire a terra le forze longitudinali di spinta e di frenata;
- generare la forza laterale, necessaria per il mantenimento dell'equilibrio in curva;
- contribuire a garantire il confort di marcia, assorbendo almeno parzialmente le micro-asperità del terreno.

Si osservino in proposito le Figure 2.1 e 2.2:

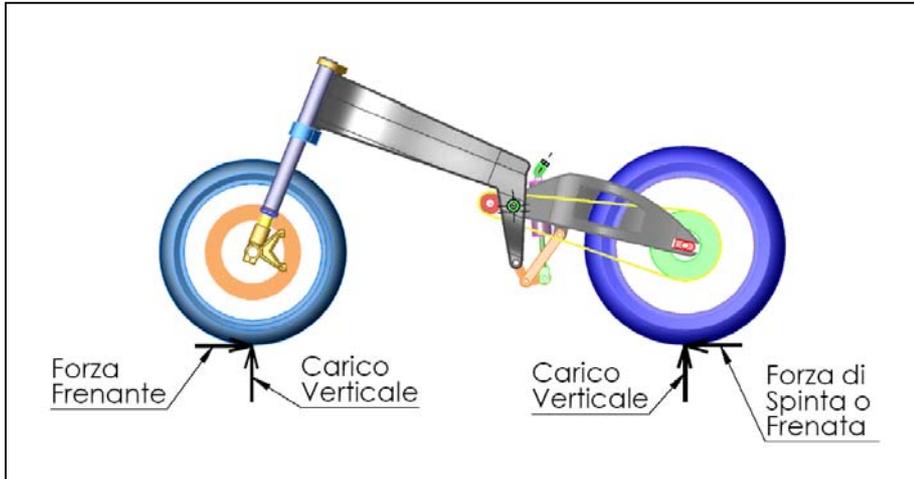


Figura 2.1 - Schema forze nel piano longitudinale del veicolo.

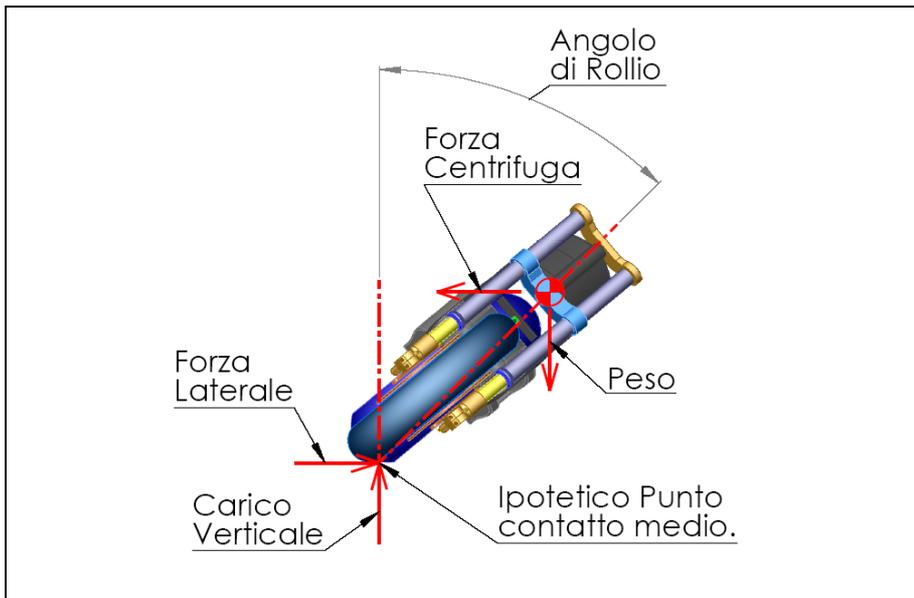


Figura 2.2 - Schema forze trasversali complessive.

La forza laterale richiesta per percorrere una traiettoria curva a velocità costante, in un caso ovviamente ideale, può essere valutata con la seguente relazione:

$$F_{laterale} = Carico_{verticale} \cdot \tan(\varphi) \quad [N] \quad (2.1)$$

dove con φ si è indicato l'angolo di rollio. Nel caso limite di cui discusso, inoltre, φ risulta direttamente legato al raggio della curva (R), ed alla velocità di percorrenza impostata (V), tramite la:

$$\tan \varphi = \frac{V^2}{gR} \quad (2.2)$$

Quello sopra calcolato è il carico laterale complessivo, necessario per tenere in traiettoria il veicolo. La ripartizione su ognuna delle due ruote dipenderà da diversi parametri, legati al modo con cui il pilota sta affrontando la curva ed alle capacità di tenuta dei pneumatici.

Come si può osservare, esiste un ben determinato angolo di *piega*, affinché l'equilibrio sia garantito. E' importante però considerare che l'angolo di rollio di cui si è detto è quello tra la direzione verticale e la retta passante per il punto di contatto con il terreno e per il baricentro complessivo del sistema, e non l'angolo di inclinazione del piano di simmetria della moto. Questi due coinciderebbero solo con ruote *lenticolari*, ovvero a sezione sottilissima.

Si veda ancora la Figura 2.2. L'angolo di inclinazione del veicolo (stiamo considerando sempre un caso ideale!) è in effetti maggiore del teorico necessario secondo la fisica in quella situazione. Questo dipende fortemente dalla larghezza del pneumatico, dal profilo e dall'altezza da terra del baricentro del sistema. In generale si potrà dire che pneumatici più larghi e baricentri più bassi *richiederanno* maggiori angoli di piega. Ma a proposito del baricentro è necessario fare ulteriori considerazioni.

Come mai differenti piloti, con la stessa moto e le stesse gomme, percorrono la stessa curva inclinando la moto in modo differente? Il pilota, spostandosi sulla sella e sulle pedane, può variare anche in modo significativo la posizione di tale baricentro. Un pilota che si sporga di più verso l'interno della curva inclinerà di meno la moto. Il consumo del pneumatico di questo pilota sarà differente da quello di un altro con un differente stile di guida (Fig. 2.3).

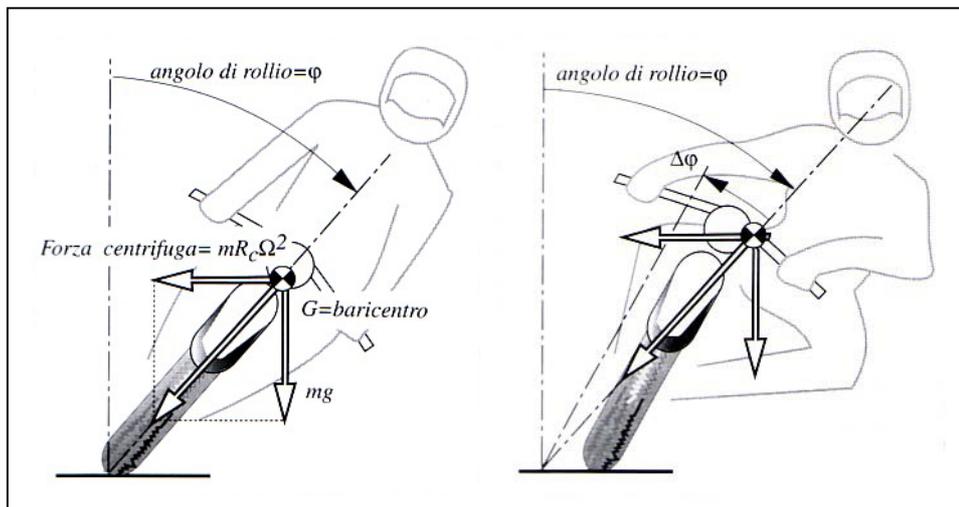


Figura 2.3 – Due modi differenti di affondare una curva (tratto da [3], p.83).

Nella realtà saranno ben pochi gli istanti in cui il veicolo si potrà trovare in equilibrio nella situazione indicata. Forse in percorrenza di un lungo curvone. Normalmente bisognerebbe considerare anche le inerzie del sistema e le sollecitazioni dinamiche che giungono alla ruota tramite le sospensioni.

2.2 Generazione delle forze.

Il moto del pneumatico rispetto al terreno non è un rotolamento puro. L'impronta lasciata a terra varia continuamente per forma e dimensioni. In corrispondenza di alcuni punti di questa il materiale viene compresso, in altri stirato. In alcuni punti la superficie del pneumatico segue l'asfalto, in altri vi striscia contro.

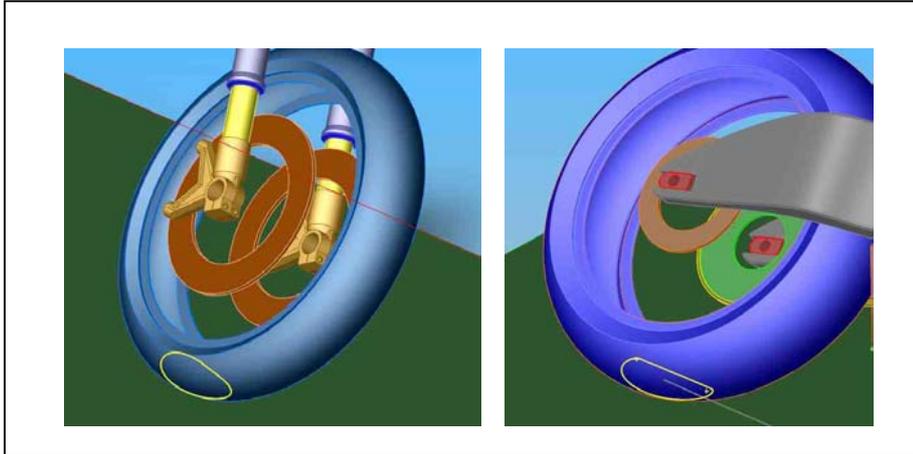


Figura 2.3 - Esempi di Impronte a terra.

Durante l'utilizzo il battistrada si consuma, ma in questo modo si possono generare le forze di contatto necessarie al movimento ed all'equilibrio. Queste dipendono dalla presenza di un carico verticale agente sull'area. Si possono quindi immaginare dei coefficienti di attrito fittizi, l'uno longitudinale e l'altro laterale:

$$f_{long} = \frac{F_{longitudinale-ruota}}{Carico_{verticale-ruota}} \quad (2.3)$$

$$f_{lat} = \frac{F_{laterale-ruota}}{Carico_{verticale-ruota}} \quad (2.4)$$

I due coefficienti di attrito introdotti, così come l'area d'impronta, non sono indipendenti l'uno dall'altro, e variano in funzione di:

- caratteristiche della struttura interna;
- entità del carico verticale;
- pressione di gonfiaggio;
- forma e dimensione della sezione;
- temperatura di esercizio;
- stato di usura del battistrada;
- velocità;
- condizioni del fondo stradale.

In senso longitudinale si osserva sempre uno strisciamento relativo tra pneumatico e manto stradale. Può essere più o meno accentuato, e comunque variabile nelle

fasi di accelerazione o frenata. Il parametro che descrive questa condizione viene chiamato *slip*, o scorrimento longitudinale. Un aumento dello *slip* indica un aumento dello strisciamento. Per convenzione lo *slip* negativo si riferisce alle fasi di frenata. Il coefficiente di attrito longitudinale, a parità di altre condizioni, è funzione di questo parametro. Un esempio si può osservare in Figura 2.4.

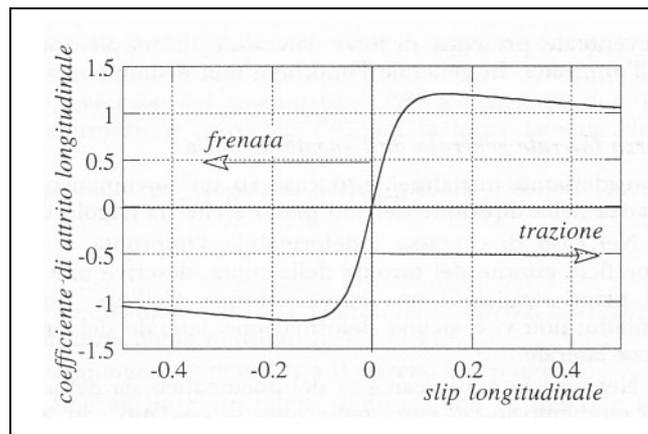


Figura 2.4 – Coefficiente di attrito longitudinale al variare dello *slip* (tratto da [3], p.37).

In senso laterale si può osservare come il moto di *rollio* sia spesso accompagnato da un moto di strisciamento, detto di *deriva*. Quest'ultimo è magari impercettibile, ma difficilmente non presente, e può essere verso l'interno o verso l'esterno della curva. Oltre ad un angolo di rollio della ruota, si definisce quindi anche un angolo di *deriva* (Fig. 2.4).

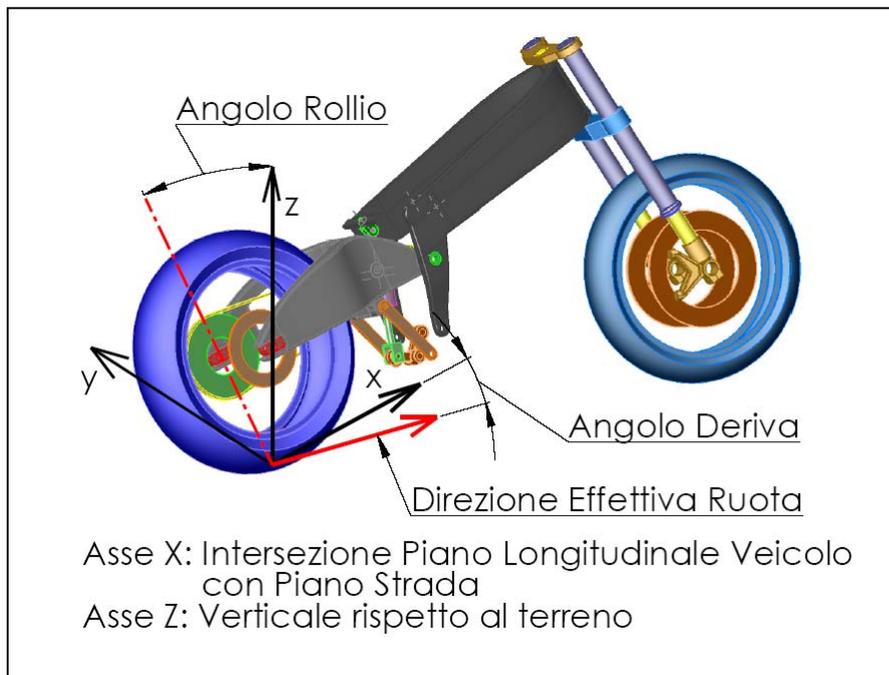


Figura 2.5 - Esempio ruota posteriore con angolo di deriva positivo (slittamento verso esterno curva).

Il coefficiente di attrito laterale, anche qui a parità di altre condizioni, può essere considerato funzione dalla combinazione dei due angoli. Si osservi il grafico di esempio in Figura 2.6 .

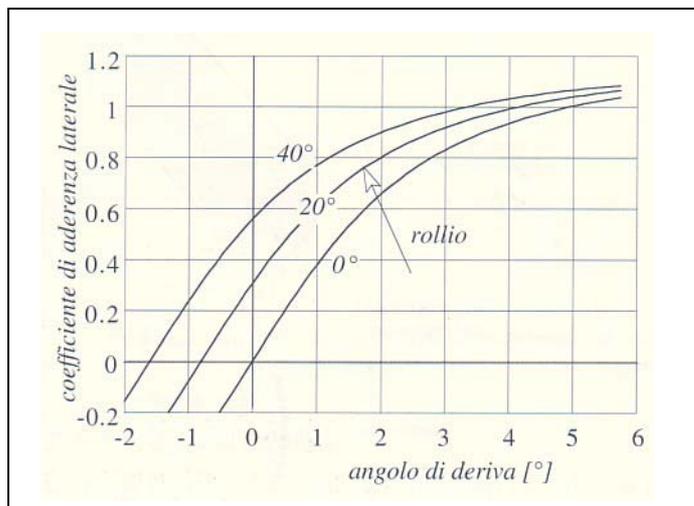


Figura 2.6 – Dipendenza del coefficiente di attrito laterale dai moti di rollio e di deriva (tratto da [3], p.40).

E' da considerare poi che la somma delle componenti laterale e longitudinale, non può superare un limite massimo, anche questo dipendente dalle condizioni di utilizzo. Bisognerà quindi utilizzare delle relazioni che tengano conto dell'effetto combinato dei tre fenomeni: *slip*, *rollio*, *deriva*.

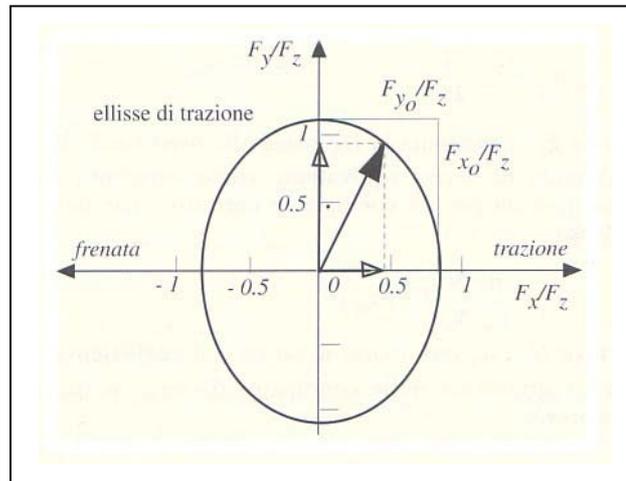


Figura 2.7 – Ellisse di trazione: luogo delle combinazioni possibili della forze longitudinale e laterale (tratto da [3], p.49).

Nella Figura 2.7 è rappresentato il cosiddetto ellisse di trazione. Le lunghezze dei semiassi corrispondono ai valori dei coefficienti di attrito massimi possibili, ovvero quelli che si otterrebbero considerando separatamente i due fenomeni. Si immagini di trovarsi con la ruota posteriore in una condizione rappresentata dalla combinazione di forze come in figura. Se ad un certo punto si dovesse richiedere maggiore trazione alla ruota la forza laterale non sarebbe più sufficiente a mantenere la traiettoria. A questo punto sarebbe necessario o incrementare l'angolo di rollio, o tollerare, se possibile, un maggiore angolo di deriva. Sostanzialmente si andrebbe così ad aumentare il semiasse verticale dell'ellisse.

I passaggi tra una condizione di lavoro ed un'altra, i cosiddetti transitori, sono notevolmente influenzati dalle deformazioni elastiche subite dal pneumatico nei sensi radiale, laterale e circonferenziale. Tali deformazioni sono principalmente legate alla struttura della carcassa, e sono molto influenzate dalle pressioni e temperature di esercizio. Si potrebbe immaginare il pneumatico come una massa dotata di molle che oscilla nei tre sensi attorno alla posizione di equilibrio

costituita dal punto ideale di contatto con il terreno. Farlo rimanere *aggrappato* a quell'area di contatto potrebbe divenire molto difficoltoso. In realtà, anche al di fuori di tali situazioni temporanee, la tendenza alla deformazioni potrebbe modificare, e di molto, il comportamento.

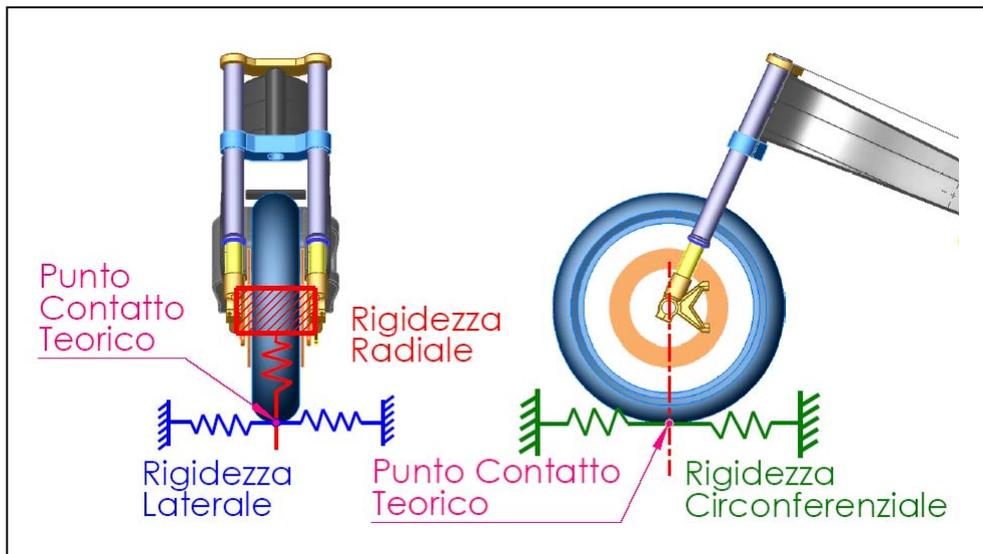


Figura 2.5 – Rappresentazione delle rigidità di un pneumatico.

2.3 Effetti collaterali insiti nella tecnologia.

Un buon pneumatico sarà sempre una scelta di compromesso tra le molte esigenze della guida su strada o in pista. Per ottenere le caratteristiche di guidabilità indicate in precedenza, inevitabilmente si va ad intervenire anche su altri aspetti del comportamento globale del veicolo:

- in senso longitudinale si riscontra la presenza di un fenomeno di resistenza al rotolamento;
- al di sopra di una certa velocità, si innescano onde stazionarie che si propagano nella gomma partendo dalla zona in cui, durante il rotolamento, avviene il distacco del battistrada dal terreno. Tale velocità, definita velocità critica, rappresenterà il limite massimo per quel pneumatico;

- nella zona di contatto con il terreno nasceranno delle coppie di reazione, che potrebbero risultare vantaggiose per la guida o creare inaspettate difficoltà: instabilità o, al contrario, poca maneggevolezza nelle manovre;
- essendo il pneumatico un elemento elastico, può contribuire anch'esso all'insorgere di altri fenomeni vibratori a volte molto fastidiosi, come il *chatter* ($\sim 14\div 18$ Hz), il *wobble* (~ 9 Hz), ed il *weave* ($\sim 2\div 4$ Hz). Questi ultimi due sono a volte confusi e percepiti dal pilota come un unico fenomeno che solitamente viene definito *sbacchettamento*.

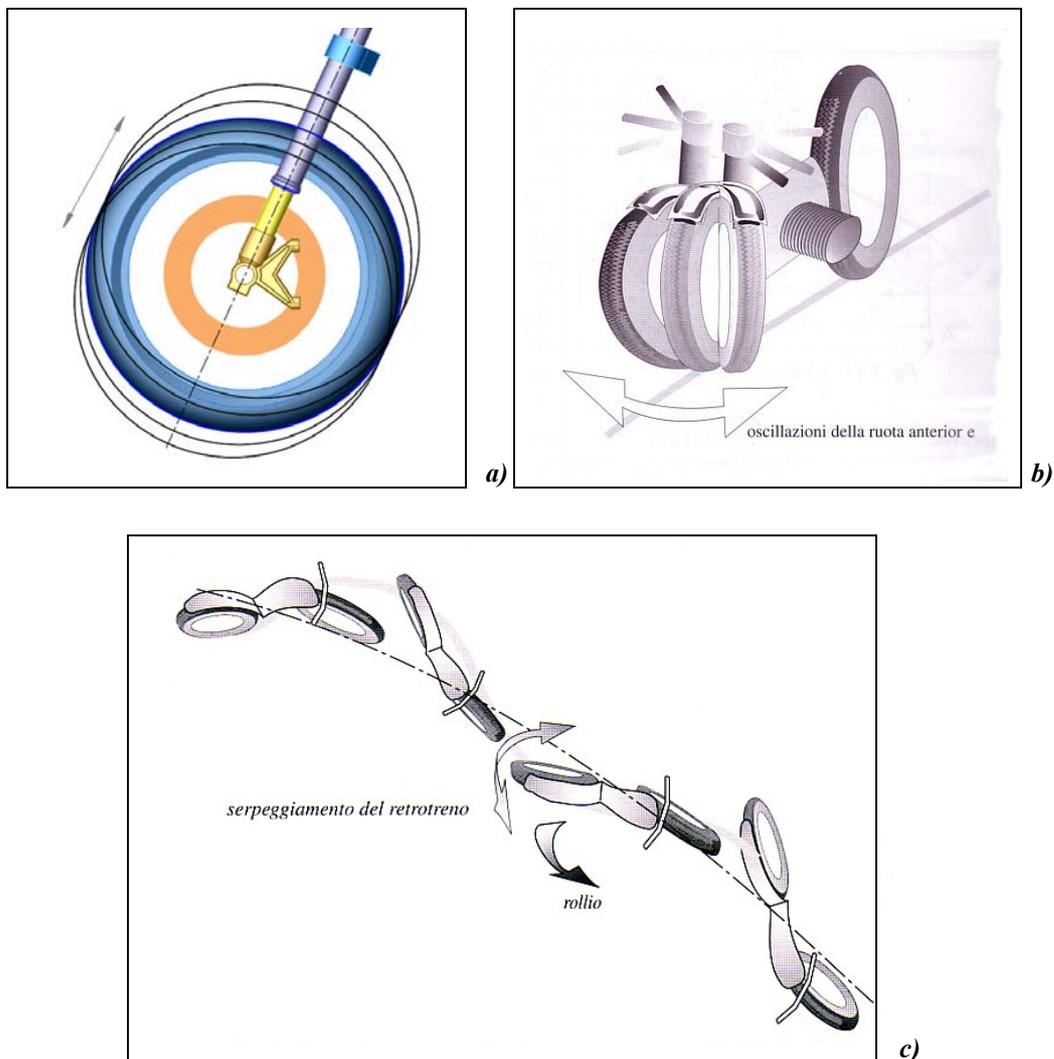


Figura 2.6 – Vibrazioni tipo: a) Chatter, b) Wobble, c) Weave. (ultime due da [3], p.196 e p.192)

3 Pneumatici convenzionali e radiali.

Il pneumatico è una struttura complessa, formata da parecchi strati di tessuto gommato con fili di rinforzo. Il numero di tele, il loro orientamento, la composizione della gomma ed il materiale dei fili possono variare notevolmente: tali variabili costituiscono i parametri che danno a ciascun modello le sue caratteristiche particolari. I pneumatici *tubeless*, che oramai sono lo standard sia in ambito stradale che sportivo, vengono fissati ermeticamente al cerchio, e non necessitano quindi della presenza di una camera d'aria.



Figura 3.1 – Pneumatico per motocicletta.

Indipendentemente dal loro utilizzo, dal punto di vista strutturale i pneumatici appartengono a due tipi fondamentali:

- convenzionali: la carcassa è costituita da un certo numero di *tele* i cui rinforzi sono disposti ad un angolo di 35° - 40° rispetto alla direzione circonferenziale. Possono aggiungersi delle cinture di rinforzo, che vengono dette di sommità. (Fig. 3.2);



Figura 3.2 – Esempi di pneumatico convenzionale con tele incrociate inferiori e cinture incrociate di sommità (tratto da [21]).

- radiali: sono formati da tele orientate in direzione perpendicolare a quella circonferenziale e da tele di *cintura* disposte con un angolo piccolo, o addirittura a 0° , rispetto alla direzione circonferenziale (Fig. 3.3).



Figura 3.3 - Esempio di pneumatico radiale con cintura a 0° e cinture incrociate di sommità (tratto da [21]).

3.1 Confronto tra le tecnologie.

Si analizzano alcuni degli aspetti tecnici che differenziano la tecnologia convenzionale da quella radiale.

Rigidità.

I pneumatici convenzionali, a causa della disposizione delle tele nella carcassa, dispongono di una notevole rigidità in tutte le direzioni. La struttura radiale porta invece ad avere fianchi più deformabili a fronte di una fascia battistrada più

rigida in senso circonferenziale. Questa differente distribuzione della rigidità consente di migliorare il confort di guida e di ottenere prestazioni complessivamente superiori dal punto di vista della generazione delle forze. Si veda ancora in proposito la Fig. 2.5.

Leggerezza.

Un pneumatico radiale è solitamente composto di meno elementi, rispetto ad un convenzionale. Quindi si possono ottenere pneumatici più leggeri, a parità di prestazioni, e l'effetto più immediato è un miglioramento delle caratteristiche di maneggevolezza del mezzo.

Attriti.

La generazione di calore per frizione tra le componenti interne è solitamente minore, per cui possono essere ridotte le temperature di esercizio alle alte velocità ed in generale si può procedere allo sviluppo di *mescole* che combinino in modo ottimale durata e *grip*.

Raggio di rotolamento.

Il raggio statico sotto carico (R_l), ovvero la distanza effettiva dall'asse della ruota rispetto al terreno, in un pneumatico convenzionale risulta di solito maggiore di quello riscontrabile in uno radiale di pari dimensioni. Con il pneumatico radiale si ottiene però un raggio di rotolamento puro (R_e) più vicino a quello nominale (R). Si osservi la Fig. 3.4.

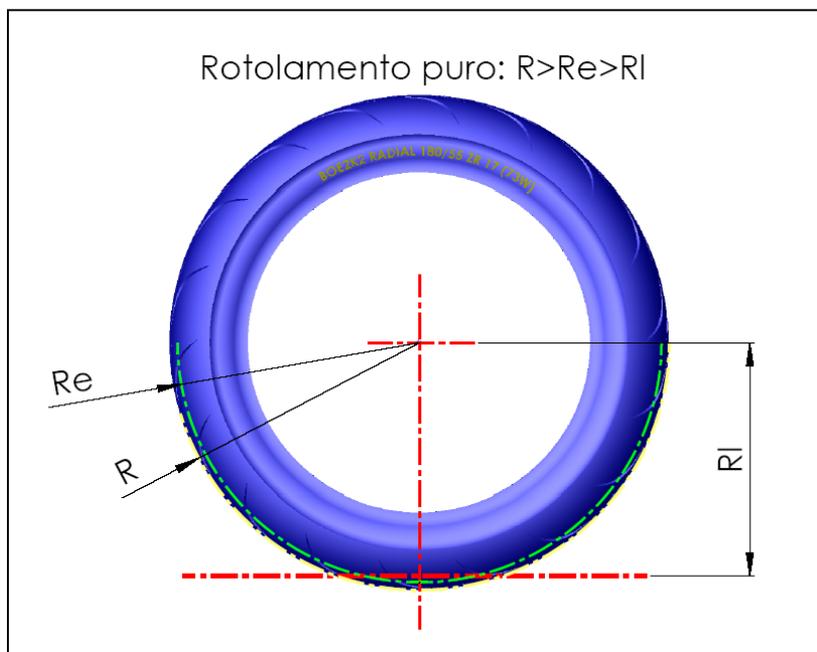


Figura 3.4 – Individuazione del raggio fittizio di rotolamento.

Il raggio di rotolamento è quel valore *fittizio* che si potrebbe calcolare conoscendo la velocità di avanzamento e quella di rotazione della ruota con la

$$R_e = \frac{V}{\omega} \quad ; \quad [m] = \frac{\left[\frac{m}{\text{sec}} \right]}{\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]} \quad (3.1)$$

dove tra quadre vengono indicate le unità di misura. Se non ci sono coppie applicate, si parla di rotolamento puro. Si troverà invece un valore diverso di R_e quando alla ruota siano applicate una coppia di spinta (es. $R_e < R$) o di frenata (es. $R_e > R$). Questo può avere notevole influenza sulla dinamica del veicolo in movimento. Per maggiori chiarimenti sul fenomeno si rimanda alla bibliografia. Alcuni valori indicativi, da prendersi solo come riferimento nel caso alla ruota non sia applicate coppie, si possono trovare in Tabella 3.1.

<i>Tipo</i>	R_l	R_e
<i>Convenzionale</i>	<i>94% di R</i>	<i>96% di R</i>
<i>Radiale</i>	<i>92% di R</i>	<i>98% di R</i>

Tabella 3.1 – Raggi statici sotto carico e di rotolamento puro.

Centrifugazione.

Alle alte velocità il pneumatico tende ad espandersi sotto l'azione della forza centrifuga. Tutti e tre i raggi definiti sopra perciò possono aumentare. Le implicazioni sulla dinamica del veicolo sono intuibili: è come aggiungere un ulteriore effetto molla verticale, senza considerare la variazione dell'area di contatto. Grazie alla notevole rigidità circonferenziale, nei pneumatici radiali questo effetto è più contenuto.

Resistenza al rotolamento e velocità critica.

La resistenza al rotolamento di un pneumatico radiale può essere circa del 20% più bassa di quella di uno convenzionale. Inoltre la sua velocità critica è solitamente maggiore. Con l'usura del battistrada nel caso di un pneumatico convenzionale si otterrà un miglioramento delle caratteristiche appena indicate (minore resistenza – maggiore velocità critica), mentre nel caso di un radiale si otterrà un effetto del tutto opposto.

4 Il pneumatico radiale: descrizione e stato dell'arte.

Si prenderanno in esame la classificazione e gli elementi che identificano un moderno pneumatico radiale. Sarà anche l'occasione per valutare a grandi linee i differenti approcci delle case al problema della ricerca del miglior compromesso tra prestazioni, sicurezza e durata.

4.1 Classificazione, dimensioni e marcatura.

La classificazione dei pneumatici per motocicletta trova spazio all'interno delle normative internazionali più generali per veicoli terrestri. Ad esempio si può fare riferimento alla UNI 10220 del 1993 o alla serie ISO 5751 del 2004. Ci sono poi due enti molto importanti che si occupano di raccogliere all'interno dei loro manuali una selezione di indicazioni specifiche per i costruttori di cerchi e pneumatici: l'europea ETRTO (*European Tyre and Rim Technical Organisation*) ed l'americana TRO (*Tire and Rim Association*). A titolo di curiosità si può osservare come nell'inglese britannico la parola *pneumatico* venga tradotta con *tyre*, mentre negli Stati Uniti viene utilizzato il termine *tire*.

Per descrivere la classificazione normalmente utilizzata, si considera un esempio di marcatura che si potrebbe trovare sul fianco di un pneumatico della serie *millimetrica* (Fig. 4.1). La serie in *pollici* segue principi abbastanza simili e non verrà qui presa in considerazione.



Figura 4.1 – Esempio di indicazione sul fianco di un pneumatico radiale.

A parte la marca ed il modello, si può osservare la dicitura seguente:

180/55 ZR 17 (73W)

- **180** : larghezza nominale della sezione del pneumatico in mm (S_n);
- **55** : rapporto nominale di aspetto (R_a), ovvero il rapporto tra l'altezza (H) della sezione e la larghezza nominale (S_n), moltiplicato per 100;
- **ZR** : fornisce informazioni sulla tecnologia costruttiva (R, per radiale) ed in questo caso definisce anche la categoria di velocità. Viene specificato quindi che si tratta di un pneumatico radiale la cui velocità massima consentita è oltre i 240 Km/h (Tab. 4.2). E' possibile trovare marcature che constano di una sola lettera, ad indicare solo la tipologia. Quasi tutte le motociclette sportive moderne adottano pneumatici marcati ZR o R.
- **17** : il diametro nominale di calettamento del cerchio, in pollici (d). Nel caso di cerchi da 16,5" spesso l'indicazione è in mm, per cui si potrebbe trovare la sigla 420;
- **(73W)**: è la cosiddetta descrizione di servizio. Il numero è l'indice di carico, un codice al quale è associato il valore massimo di carico applicabile alla ruota ad una determinata pressione nominale di lavoro. La

lettera è l'indice di velocità. In questo caso il significato complessivo è che la velocità massima consentita è oltre i 270 Km/h, ma che dai 240 Km/h in su il carico massimo trasportato, di 365 Kg, deve essere ridotto in modo opportuno (Tab. 4.2, 4.3 e 4.4). La eventuale mancanza delle parentesi dovrebbe avere il significato di livello massimo di velocità. Nel caso di pneumatici slick, ovviamente non omologati per uso stradale, solitamente non vi sono indicazioni.

Nella Figura 4.2 si può osservare il significato dei parametri dimensionali appena introdotti.

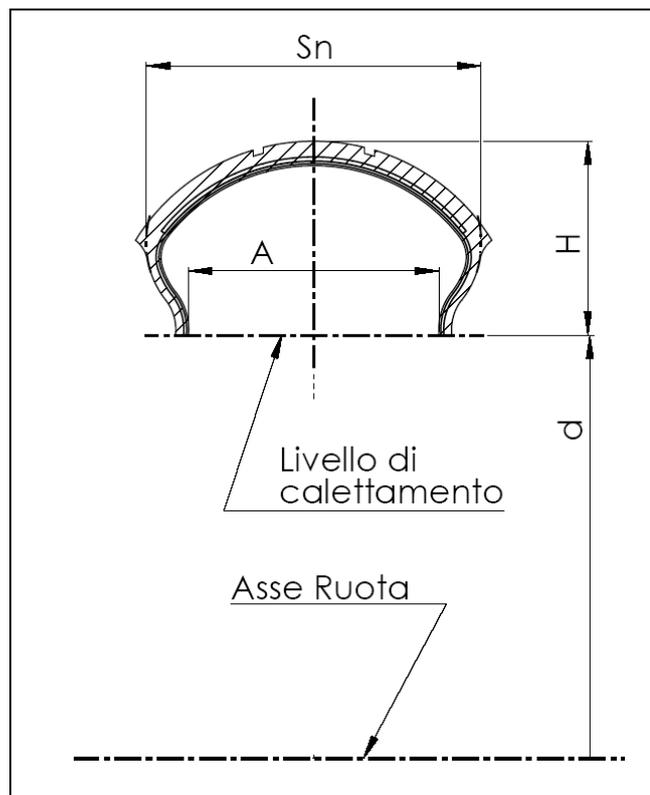


Figura 4.2 – Dimensioni nominali di un pneumatico.

Ulteriori informazioni potrebbero essere:

- **M/C** : specifica che si tratta di un pneumatico per motocicletta;
- **TL** : indicazione della tipologia Tubeless;
- **Senso di rotolamento** : una freccia dovrebbe indicarlo;

- **Pressione di esercizio**: quella suggerita per la destinazione d'uso standard;
- **Codice mescola** : adottato nel caso di pneumatici ad utilizzo sportivo, in cui è possibile utilizzare differenti composizioni chimiche, a parità di profilo della zona battistrada;
- **Codice profilo** : anche questo è un codice spesso trovato su pneumatici sportivi, mentre negli stradali il nome del modello identifica già un determinato tipo di profilo;
- **Data di produzione** : la classica marcatura con mese e anno di produzione, comunemente adottata per qualunque oggetto prodotto per stampaggio. In passato era più importante disporre di pneumatici *freschi*, a causa del fenomeno dell'invecchiamento a cui erano soggette le mescole. Oggi dovrebbe essere meno un vincolo, ma è il caso almeno di fare attenzione alle condizioni in cui il pneumatico viene conservato;
- **Luogo di produzione** : di solito solo lo Stato.

Normalmente non viene riportata la larghezza nominale (A) del canale del cerchio da adottare. Questa è suggerita nelle specifiche tecniche dei fornitori ed indicata generalmente in pollici.

Le dimensioni teoriche che dovrebbero riscontrarsi, a pneumatico montato su un particolare cerchio, vengono calcolate attraverso semplici relazioni indicate nelle norme. In particolare la larghezza *teorica* di sezione (S) può essere calcolata con la

$$S = S_n + 0.4(A - K_1 S_n) \quad (4.1)$$

nella quale A deve essere preventivamente convertito in mm, e K_1 è un parametro adimensionale ricavabile dalla seguente tabella:

Rapporto nominale di aspetto (R_a)	K_1
100 - 90 - 80	0.6
70 - 65 - 60	0.7
55 - 50	0.8
45 - 40 - 35 - 30	0.9

Tabella 4.1 – Fattori K_1 in funzione del rapporto nominale di aspetto.

Il prodotto $K_1 S_n$ ha il significato di una larghezza ideale di canale cerchio. Il diametro esterno *teorico* del pneumatico si potrà invece ottenere con la

$$D = d + H = d + 0.02(S_n R_a) \quad (4.2)$$

Ipotizzando di montare il pneumatico precedentemente considerato su un cerchio con larghezza di canale di 5.5'', si otterrebbe:

$$\begin{aligned} S &= 180 + 0.4(5.5 \times 25.4 - 0.8 \times 180) = \\ &= 180 - 1.72 \approx 178,5mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= 17 \times 25.4 + 0.02(180 \times 55) = \\ &432 + 198 = 630mm \end{aligned}$$

Si vuole però sottolineare come si tratti di valori *teorici*, che nelle tabelle appaiono più che altro come suggerimenti di standardizzazione per i costruttori. Nelle norme vengono indicate anche le condizioni di prova. Nelle specifiche del TRO è ipotizzato che, in servizio, la larghezza della sezione non debba aumentare di oltre il 10%, ed il diametro non oltre il 3% circa. Nelle specifiche ETRTO invece vengono riportate tabelle indicanti direttamente i valori nominali e massimi, ed anche dei limiti di raggio sotto centrifugazione.

La produzione stradale spesso non si discosta troppo dai valori teorici, mentre nel caso di pneumatici destinati alle corse le differenze riscontrate sono a volte notevoli. Date le premesse, qualora si avesse bisogno di dati certi per effettuare paragoni, l'unico suggerimento possibile è quello di contattare i produttori o di

procedere a rilevamenti. Si tenga infatti conto che, nei motocicli, variazioni alla geometria del mezzo dell'ordine dei millimetri sono tutt'altro che trascurabili.

In conclusione del paragrafo si propongono alcune tabelle di riferimento.

Indici di Velocità									
Codice	Km/h	Codice	Km/h	Codice	Km/h	Codice	Km/h	Codice	Km/h
B	50	G	90	N	140	T	190	W	≤270
C	60	J	100	P	150	U	200	(W)	> 270
D	65	K	110	Q	160	H	210	ZR	> 240
E	70	L	120	R	170	V/VB	≤240		
F	80	M	130	S	180	(V)/(VB)	> 240		

Tabella 4.2 – Indici di velocità.

Indici di Carico									
Codice	Kg	Codice	Kg	Codice	Kg	Codice	Kg	Codice	Kg
20	80	34	118	48	180	62	265	76	400
21	82.5	35	121	49	185	63	272	77	412
22	85	36	125	50	190	64	280	78	425
23	87.5	37	128	51	195	65	290	79	437
24	90	38	132	52	200	66	300	80	450
25	92.5	39	136	53	206	67	307	81	462
26	95	40	140	54	212	68	315	82	475
27	97	41	145	55	218	69	325	83	487
28	100	42	150	56	224	70	335	84	500
29	103	43	155	57	230	71	345	85	515
30	106	44	160	58	236	72	355	86	530
31	109	45	165	59	243	73	365	87	545
32	112	46	170	60	250	74	375		
33	115	47	175	61	257	75	387		

Tabella 4.3 – Indici di carico.

MAXIMUM SPEED	VARIATION IN LOAD CARRYING CAPACITY (%)			
	SPEED SYMBOL			
	H	V		W (2)
210	100	100	100	100
220	-	95	95	100
230	-	90	90	100
240	-	85	85	100
250	-		80 (1)	95
260	-		75 (1)	85
270 (3)	-		70 (1)	75
(1) Applicable only to tyres identified by Speed Category Markings 'V', 'VB', 'VR' and up to the maximum speed specified by the Tyre Manufacturer	Applicable uniquement aux Pneus identifiés au moyen des Codes de Catégorie de Vitesses 'V', 'VB', 'VR' et jusqu'à la Vitesse maximum spécifiée par le Manufacturier.	Anwendbar nur durch Reifen der Geschwindigkeitskategorie "V", "VB" und "VR" bis zur vom Reifenhersteller festgelegten Höchstgeschwindigkeit.		
(2) Applicable also to tyres identified by Speed Category Markings 'ZB', 'ZR' without the Marking of Service Description	Applicable aussi aux Pneus identifiés au moyen des Codes de Catégorie de Vitesses "ZB", "ZR", sans marquage des conditions d'utilisation.	Anwendbar auch durch Reifen der Geschwindigkeitskategorie "ZB", "ZR" ohne Betriebskennung		
(3) For speeds in excess of 270 km/h, it is recommended to further reduce the Load Capacity by at least 10 % for every 10 km/h speed step up to the maximum speed approved by the Tyre Manufacturer.	Pour les vitesses supérieures à 270 km/h, il est recommandé de continuer à réduire la Capacité de Charge d'au moins 10 % par tranche de 10 km/h jusqu'à la Vitesse Maximum approuvée par le Manufacturier.	Für Geschwindigkeiten oberhalb von 270 km/h wird empfohlen, die Tragfähigkeit für jede 10 km/h um mindestens 10 % zu reduzieren bis zu der vom Reifenhersteller festgelegten Höchstgeschwindigkeit.		

Tabella 4.4 – Variazioni percentuali sul carico trasportabile alle alte velocità (Fonte ETRTO).

Si rimanda il lettore alle normative, nelle quali potrà trovare tabulati molti più parametri. Si consiglia in particolare lo *Standards Manual* dell'ETRTO.

4.2 Struttura

Si consideri una struttura radiale *Tubeless* come quella in Figura 4.3. Abbastanza comune per tutti i costruttori è l'adozione di una *carcassa* principale formata da una o due tele gommate dotate di elementi di rinforzo disposti in senso radiale. Le fibre sono solitamente realizzate con cordicelle in Nylon o Rayon. Più recentemente sono stati sperimentati nuovi materiali come il Pen Tec. Le tele di carcassa sono quindi ancorate ai *cerchietti*, elementi composti da più fili di acciaio che vengono posti all'interno dei *talloni*. I talloni sono le due estremità del pneumatico destinate ad inserirsi nel cerchio. L'adesione dopo il montaggio in quest'area deve essere perfetta, in modo da ottenere una tenuta ottimale dell'aria. Per lo stesso motivo tutto l'interno viene rivestito con uno strato in miscela impermeabile chiamato *liner*.

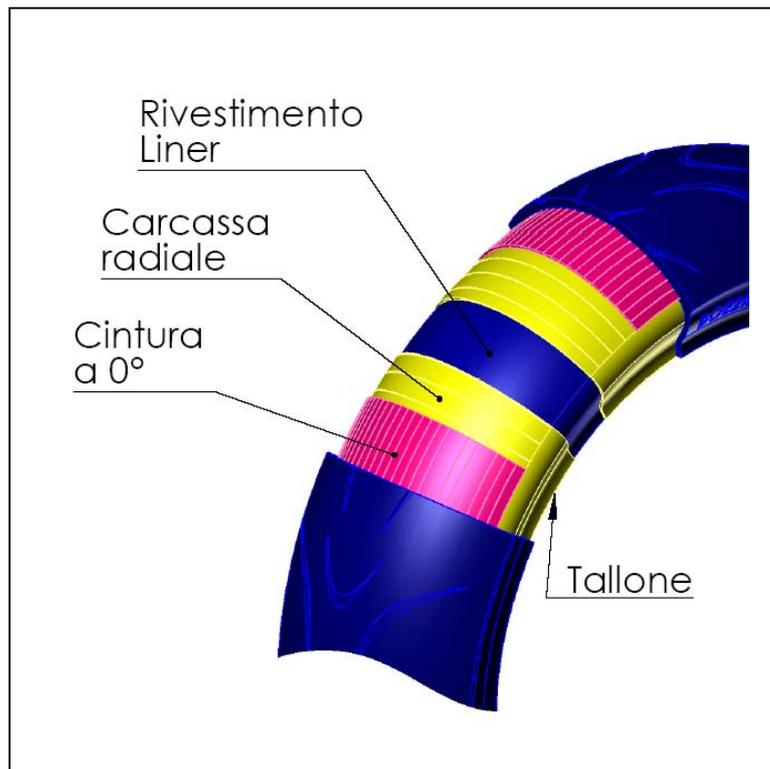


Figura 4.3 – Esempio di struttura minima di un pneumatico radiale tubeless.

Le differenze più interessanti riscontrabili tra i vari modelli sono da ricercarsi nella zona tra la carcassa ed il battistrada, zona nella quale vengono inseriti i cosiddetti elementi di cintura:

- cintura principale: più o meno tutti sono concordi nell'utilizzare almeno una *cintura* a 0° , o quasi, rispetto alla direzione circonferenziale. In passato si utilizzava spesso una struttura a sole cinture incrociate;
- materiale fibre: per alcuni è costituito da fibre di Aramide, per altri è in acciaio. In quest'ultimo caso la cintura è quasi sempre singola (Fig. 4.4);



Figura 4.4 – Pneumatico radiale con cintura a 0° in acciaio (da [25]).

- realizzazione della cintura: può essere costituita da una tela avvolta attorno alla carcassa con o senza giunture. Con quest'ultima soluzione, per il momento adottata esclusivamente da alcuni costruttori e solo per pneumatici posteriori, l'elemento di rinforzo è costituito da un unico filo avvolto in senso circonferenziale, che può essere in aramide o in acciaio (Fig. 4.5);

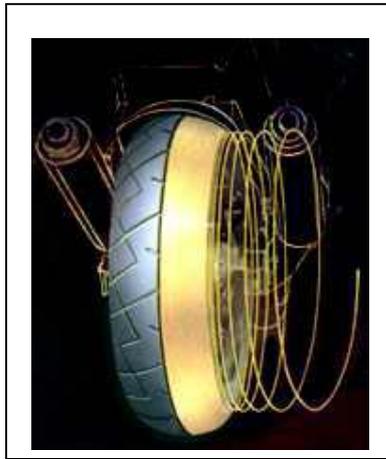


Figura 4.5 – Ipotesi di cintura mono spirale senza giunte (da [23]).

- rigidità variabile: alcuni costruttori dichiarano una disposizione differenziata delle fibre di cintura. Si modifica la fittezza lungo la sezione in modo da rispondere alle diverse situazioni di guida. E' probabile che altri utilizzino sistemi simili. Ad esempio si parla di sistemi di controllo delle tensioni lungo la sezione (Fig.4.6), in quanto la necessità di un comportamento versatile è abbastanza comune;

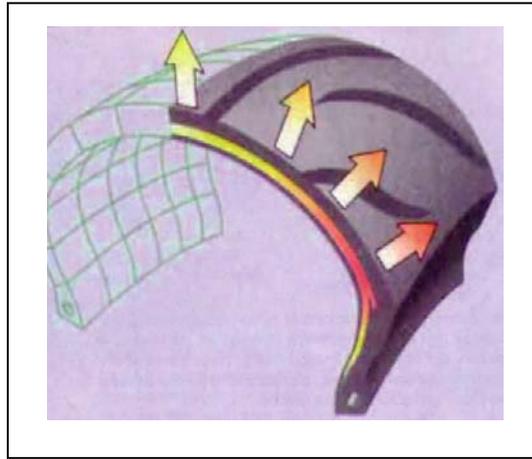


Figura 4.6 – Schema di principio di un sistema di controllo delle tensioni (CTCS) sviluppato da Dunlop (da [6]).

- cinture di sommità: a volte al di sopra della cintura a 0°, qualora questa non sia in acciaio, vengono diposte alcune tele di cintura incrociate, dette appunto di sommità. In questo caso una interessante soluzione, sempre orientata ad ottenere la rigidezza *dove serve*, è quella di inserire in ogni spalla una tela di cintura più stretta del normale, con orientamento delle fibre opposto l'una rispetto all'altra (Fig. 4.7). La zona più centrale, o della *corona*, dovrebbe risultare così meno rigida.

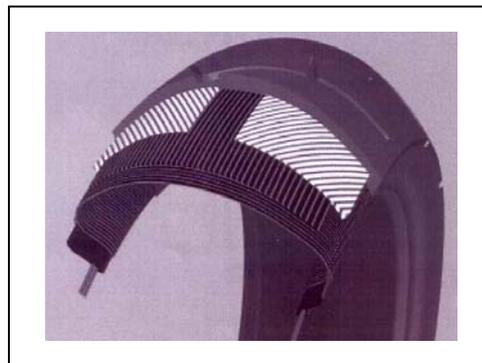


Figura 4.7 – Sistema di rinforzo con doppia cintura di sommità (da [23]).

Quelle riportate sono solo alcune delle soluzioni adottate, o perlomeno dichiarate, dai maggiori costruttori di pneumatici per motocicletta. Sono facilmente reperibili sui siti web di tali aziende e di tanto in tanto nelle recensioni su riviste specializzate. Sicuramente vi sono molte altre combinazioni di caratteristiche interne possibili.

4.3 Mescola

La zona a contatto con il terreno, il battistrada, viene realizzata introducendo delle sostanze, i cosiddetti riempitivi, all'interno di una matrice polimerica in gomma naturale o sintetica. Detta in maniera più semplice, la gomma viene *mescolata* con altre sostanze. La composizione e la quantità di queste sostanze determinano le caratteristiche peculiari dello strato superficiale che si viene a formare. Comunemente si parlerà di mescola del battistrada, o semplicemente di *mescola*.

I riempitivi più comuni sono composti a base di silice e nerofumo. La prima dovrebbe donare al pneumatico una maggiore resa sul bagnato ed alle basse temperature di esercizio. Nerofumo ed altre sostanze simili vengono invece introdotti per aumentare la tenuta e la durata della performance. Non è possibile dire molto altro al riguardo, anche perché informazioni tecniche più precise sulla composizione delle mescole sono oggetto di segreto industriale.

Tutte le case propongono mescole definite più o meno dure nella loro gamma di prodotti. In generale si potrebbe dire che una mescola più morbida può fornire, a parità di altre condizioni una migliore adesione con il terreno, il cosiddetto *grip*. Nel fare questo è probabile che il battistrada si consumi più velocemente. Se si ha quindi la necessità di utilizzare il pneumatico per un tempo prolungato, e se si è disposti a tollerare un livello di grip magari inferiore, può essere preferibile optare per mescole più dure.

Bisogna poi tenere conto di un altro aspetto spesso trascurato: ogni mescola ha una propria ben determinata fascia di temperature di lavoro, ed una propria capacità di raggiungere quelle temperature in modo più o meno agevole. Sotto quel livello non sarà ancora in grado di far presa in modo adeguato e tenderà a disgregarsi (a *strappare*, si dice), sopra non ce la farà più o comunque si consumerà troppo velocemente. Se non si è in grado di portare una gomma in temperatura, a causa delle condizioni meteo, del setup, o del proprio stile di guida, è meglio optare per una mescola differente. Questa situazione è stata riscontrata in

varie occasioni di test in circuito durante i primi mesi della stagione primaverile. Si pensava di utilizzare una gomma morbida, in modo da usufruire di un migliore livello di aderenza e non andando incontro, grazie alle basse temperature, ad un consumo precoce. Purtroppo però proprio le basse temperature non permettevano di portare la gomma in temperatura, e quindi si otteneva l'effetto contrario: gomme da buttare in pochi giri. La soluzione è consistita nell'adozione di mescole più dure, le quali entravano prima e più facilmente nel loro range di temperatura.

E' buona prassi tenere sotto controllo la temperatura dei pneumatici con strumenti, detti *pirometri*, che la vadano a leggere al di sotto della superficie dello strato di mescola, tramite un'apposita sonda (Fig. 4.8). Infatti oltre al calore generato per attrito con il terreno, bisogna considerare anche quello che si genera per strisciamento interno tra le tele, e quello generato per *isteresi* (una sorta di effetto smorzante) del materiale. Se la misurazione fosse effettuata solo sulla superficie si rischierebbe di non accorgersi che internamente le temperature hanno già raggiunto livelli pericolosi, o al contrario si potrebbe pensare di non avere ancora fatto lavorare bene il pneumatico. In entrambi i casi il setup del veicolo potrebbe risultare compromesso e non se ne comprenderebbe il motivo.



Figura 4.8 – Pirometro in gradi Celsius con sonda.

I pneumatici destinati all'utilizzo stradale vengono solitamente realizzati con composizioni specifiche, le quali dovrebbero combinare principalmente doti di sicurezza e durata, magari a sfavore della prestazione pura. Utilizzando la moto per strada si fa lavorare la gomma a temperature inferiori rispetto a quelle

raggiungibili in pista, e questo deve essere tenuto seriamente in considerazione. Un ottimo pneumatico posteriore da pista, la cui temperatura ottimale di utilizzo può essere, ad esempio, dell'ordine dei 100°C, difficilmente darà il meglio di sé tenendo un passo appena allegro durante una gita in montagna in una giornata fresca. Potrebbe addirittura essere rischioso utilizzarlo. Allo stesso modo un pneumatico stradale, sottoposto alle temperature di lavoro che si raggiungono in una giornata in circuito, potrebbe perdere di efficacia in breve tempo ed in modo non controllato.

Data la diffusione sempre più spinta di motociclette stradali di ispirazione sportiva, e dato anche il numero sempre maggiore di piloti che si avvicinano alla pista in modo saltuario, sono state sviluppate nuove soluzioni intermedie che permettano di ottenere interessanti livelli di grip uniti ad accettabili durate. Alcuni produttori iniziano a proporre in merito soluzioni bi-mescola, differenziando la composizione della zona centrale del battistrada da quella delle spalle.

4.4 Profilo

Si consideri la sezione del battistrada (Fig. 4.9). Spesso viene adottata una soluzione a raggio variabile, ma non è una regola. Un andamento più appuntito potrebbe essere un vantaggio per un più rapido ingresso in curva, e per garantire una maggiore superficie di appoggio in *piega*. Uno più piatto dovrebbe privilegiare la stabilità e la manovrabilità alle basse andature. Bisognerà però valutare la possibilità di ottenere un comportamento ideale in tutte le condizioni: rettilinei, curvoni veloci, varianti, tornantini, e così via.

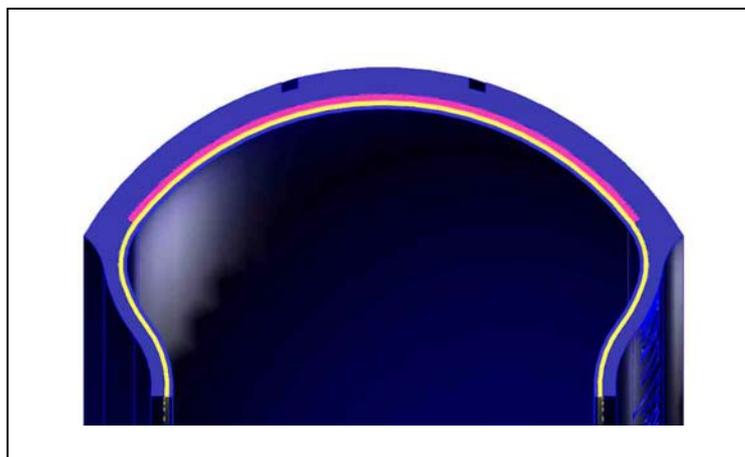


Figura 4.9 – Profilo della sezione del pneumatico.

Inoltre il profilo dovrebbe essere studiato per la combinazione di carcassa e mescola sulla quale sarà realizzato. Le caratteristiche di funzionamento del pneumatico sono infatti determinate dall'insieme di questi tre elementi. Le case produttrici adottano simulazioni al computer che tengono conto di tutti i parametri in gioco.

4.5 Disegno

Per un utilizzo in condizioni di pioggia, è necessario che sul battistrada del pneumatico siano realizzati degli intagli. In questo modo si può permettere il deflusso dell'acqua ed evitare il fenomeno *dell'aquaplaning*. I pneumatici stradali vengono progettati ottimizzando il numero, la dimensione e la forma degli intagli per ottenere il miglior compromesso tra le richieste di grip e di sicurezza sia sull'asciutto che sul bagnato.

La forma degli intagli realizzati tiene conto dell'orientamento delle forze di contatto con il terreno (Fig. 4.10). Questo è il motivo per cui di solito pneumatici anteriori e posteriori hanno disegni con orientamento opposto. Infatti nel caso di un pneumatico posteriore la componente di forza longitudinale è prevalentemente di trazione, mentre nel caso di un anteriore le sollecitazioni peggiori in quel senso saranno quelle di frenata. Quindi è fondamentale montare il pneumatico nel verso indicato dal costruttore. Diversamente si sottoporrebbe il battistrada a sollecitazioni assolutamente non previste in fase di progetto.

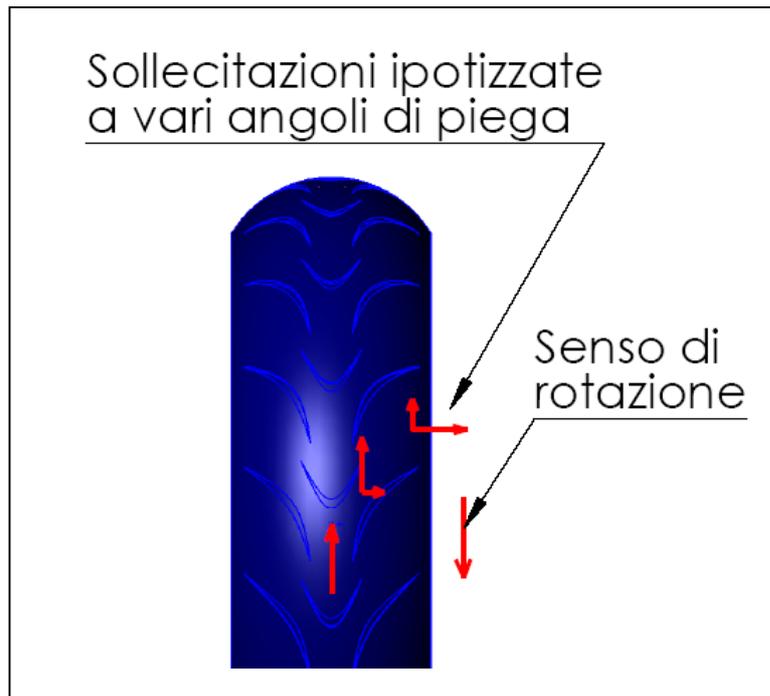


Figura 4.10 Esempio di disegno e sollecitazioni del battistrada per un pneumatico posteriore. L'orientamento degli intagli favorisce la trasmissione delle forze a terra ed il deflusso dell'acqua dall'area d'impronta.

In ambito sportivo, sull'asciutto, quasi in tutte le categorie vengono utilizzati pneumatici senza intagli (*slick*). Oltre a garantire una maggiore superficie di contatto con il terreno, e quindi a migliorare il grip, bisogna considerare che l'assenza di intagli fornisce una maggiore resistenza allo strato di mescola. Per il bagnato, vengono invece realizzati pneumatici con una quantità di intagli molto superiore a quella di uno stradale (*rain*). In questo caso infatti si deve garantire la prestazione massima, limitatamente ad una particolare condizione meteo. Gli *slick* sul bagnato non darebbero sufficiente tenuta, i *rain* sull'asciutto durerebbero pochissimo e non potrebbero comunque soddisfare per il livello di grip ottenibile.

Conclusioni.

Si è cercato di fornire le basi tecniche per una migliore comprensione del modo di operare delle coperture radiali per motociclette, e si è cercato di farlo senza annoiare troppo con eccessivi sviluppi e dimostrazioni teoriche. Il lavoro è senz'altro migliorabile, e probabilmente evolverà in futuro anche secondo le indicazioni di coloro che vorranno dargli un'occhiata. Una seconda parte è al momento in studio, e dovrebbe essere dedicata ad una raccolta di esperienze e consigli pratici. Di questi se ne trovano a migliaia sulle riviste, sul web, e perfino nei bar, anche se a volte si tratta di luoghi comuni privi di fondamento. Si tratterà di raccogliarli, selezionarli ed organizzarli in modo logico. Si vorrebbero coinvolgere anche i costruttori. Si vedrà.

In ogni caso si pensa che ora sia più facile comprendere quanto ingrato sia il lavoro di un pneumatico e di chi lo progetta. Nel progetto, date le infinite combinazioni di condizioni possibili è importante sceglierne un set che possa identificare una destinazione d'uso. Che non si pensi che la gomma del pilota vincente sia quella più adatta alla guida di chiunque. Allo stesso modo non si pensi che esista una sorta di formula magica che permetta di ottenere gomme indistruttibili con prestazioni sempre eccezionali.

Scegliere un pneumatico ed ottimizzarne l'utilizzo su strada è una questione di sicurezza e buon senso, mentre in pista è un problema di tutti i giorni. Il passaggio da un pneumatico ad un altro richiederà quasi sempre di operare modifiche all'assetto del veicolo e forse anche allo stile di guida. Non è detto che quello che è considerato il miglior pneumatico sul mercato possa essere sfruttato adeguatamente da qualunque pilota.

Indice delle tabelle e delle figure.

Indice delle tabelle.

- 3.1 - Raggi statici sotto carico e di rotolamento puro.
- 4.1 - Fattori K_1 in funzione del rapporto nominale di aspetto.
- 4.2 - Indici di velocità.
- 4.3 - Indici di carico.
- 4.4 - Variazioni percentuali sul carico trasportabile alle alte velocità.

Indice delle figure.

- 2.1 - Schema forze nel piano longitudinale del veicolo.
- 2.2 - Schema forze trasversali complessive.
- 2.3 - Due modi differenti di affondare una curva.
- 2.3 - Esempi di Impronte a terra.
- 2.4 - Coefficiente di attrito longitudinale al variare dello *slip*.
- 2.5 - Esempio ruota posteriore con angolo di deriva positivo.
- 2.6 - Dipendenza del coefficiente di attrito laterale dai moti di rollio e di deriva.
- 2.7 - Ellisse di trazione: luogo delle combinazioni possibili della forze longitudinale e laterale.
- 2.5 - Rappresentazione delle rigidzze di un pneumatico.
- 2.6 - Vibrazioni tipo: a) Chatter, b) Wobble, c) Weave.

- 3.1 - Pneumatico per motocicletta.
- 3.2 - Esempi di pneumatico convenzionale con tele incrociate inferiori e cinture incrociate di sommità.
- 3.3 - Esempio di pneumatico radiale con cintura a 0° e cinture incrociate di sommità.
- 3.4 - Individuazione del raggio fittizio di rotolamento.

- 4.1 - Esempio di indicazione sul fianco di un pneumatico radiale.
- 4.2 - Dimensioni nominali di un pneumatico.
- 4.3 - Esempio di struttura minima di un pneumatico radiale tubeless.
- 4.4 - Pneumatico radiale con cintura a 0° in acciaio.
- 4.5 - Ipotesi di cintura mono spirale senza giunte.
- 4.6 - Schema di principio di un sistema di controllo delle tensioni (CTCS) sviluppato da Dunlop.
- 4.7 - Sistema di rinforzo con doppia cintura di sommità.
- 4.8 - Pirometro in gradi Celsius con sonda.
- 4.9 - Profilo della sezione del pneumatico.
- 4.10 - Esempio di disegno e sollecitazioni del battistrada per un pneumatico posteriore.

Bibliografia.

Volumi.

- [1] Bradley J., *The Racing Motorcycle. A technical guide for constructors*, York: Broadland Leisure Publications, 1996.
- [2] Cocco G., *Effetto Moto. Dinamica e tecnica della motocicletta*, Vimodrone (MI): Giorgio Nada Editore, 2001.
- [3] Cossalter V., *Cinematica e dinamica della motocicletta*, Padova: Edizioni Progetto, 1999.
- [4] Genta G., *Meccanica dell'autoveicolo*, Torino: Levrotto & Bella, 2000.

Articoli

- [5] Gargiulo L., "Sotto attacco", *Super Moto Tecnica*, Anno19 - N°8 - Agosto 2005.
- [6] Guerra G., "Dunlop D208RR: nobile stirpe", *Super Moto Tecnica*, Anno18 - N°10 - Ottobre 2004.
- [7] Guerra G., "Montaggio ed equilibratura dei pneumatici per motocicletta", *Super Moto Tecnica*, Anno18 - N°7 - Luglio 2004.
- [8] "Ad un passo dalla MotoGP", *Super Moto Tecnica*, Anno18 - N°4 - Aprile 2004.

Normative e Linee Guida

- [9] *Standards Manual*, Brussels: The European Tyre and Rim Technical Organisation, 2004.
- [10] UNI 10220:1993, *Pneumatici per autoveicoli, motoveicoli, macchine agricole e loro rimorchi. Serie millimetriche. Caratteristiche dimensionali.*
- [11] ISO 5751-1:2004, *Motorcycle tyres and rims (metric series) – Part1: Design guides.*

- [12] ISO 5751-2:2004, *Motorcycle tyres and rims (metric series) – Part2: Tyre dimensions and load-carrying capacities.*
- [13] ISO 5751-3:2004, *Motorcycle tyres and rims (metric series) – Part3: Range of approved rim contours.*

Siti web

- [14] http://pdmec4.mecc.unipd.it/~cos/DINAMOTO/right_index2005.html
[1.2005]
- [15] <http://www.etrto.org> [8.2005]
- [16] <http://www.us-tra.org> [8.2005]
- [17] <http://www.iso.org> [8.2005]
- [18] <http://www.uni.com> [8.2005]
- [19] <http://www.pirelli.it> [8.2005]
- [20] <http://www.pirellimoto.it> [8.2005]
- [21] <http://www.michelin.it> [2.2005]
- [22] <http://www.two-wheels.michelin.com> [8.2005]
- [23] <http://www.bridgestoneitalia.it> [8.2005]
- [24] <http://www.dunlop.it> [8.2005]
- [25] <http://www.metzelmoto.it> [8.2005]
- [26] <http://www.conti.online.com> [8.2005]
- [27] <http://www.avonmotorcycle.com> [8.2005]
- [28] <http://www.kakimoto.it> [8.2005]