

Le bizzarre traiettorie del pallone Jabulani

Il pallone “Jabulani” usato nei mondiali di calcio 2010 è stato al centro di alcune polemiche per via del suo comportamento, in special riguardo con riferimento alle sue traiettorie imprevedibili. In questo articolo semplificato vengono esaminate le ragioni principali di questi effetti aerodinamici. Si considerano la capacità del pallone di penetrare l’aria, lo sbandamento che subisce soprattutto nei tiri in porta, il tiro a effetto e infine le traiettorie spioventi che sorprendono all’ultimo il portiere.

Introduzione

“Jabulani” è il nome dato al pallone dei mondiali e significa “festeggiare” in lingua zulu. Com’è noto, alcuni portieri sono però poco propensi a fare festa intorno a questo prodotto innovativo, protagonista di traiettorie irregolari e bizzarre, ma comunque concepito dopo lunghi studi e passato al vaglio della normativa Fifa.

Non si può negare che l’aerodinamica concorra allo spettacolo, come si vede nelle prospettive tv schiacciate. È proprio l’aerodinamica l’oggetto del contendere. Essa è oggi critica per una palla da gioco e le ricerche in merito sono sempre più spinte, comprese le costose misurazioni nelle gallerie del vento. Come si esprime tutto ciò in campo?

Semplificando, possiamo intanto isolare quattro fenomeni primari. La *penetrazione aerodinamica* favorisce il raggiungimento di velocità elevate. Abbiamo poi lo *sbandieramento* della palla, forse il fattore più criticato. Il *tiro a effetto* si produce invece quando la traiettoria è fortemente incurvata, come quella che aggira una barriera e s’infilta in rete. Infine, il *tiro spiovente* sorprende il portiere per il suo repentino abbassamento. Questi fenomeni hanno accompagnato i mondiali e sono uno più scenografico dell’altro. Con lo Jabulani lo sono ancora di più.

La ragione va forse ricercata nel fatto ch’esso pesa meno? Sulla carta questa potrebbe essere una spiegazione, giacché, a parità di forma e qualità superficiali, le spinte dell’aria si fanno sentire maggiormente su un corpo dotato di meno massa e quindi soggetto a una minore forza gravitazionale e connotato da una minore inerzia. Tuttavia, lo Jabulani pesa circa come il precedente “Teamgeist”, se non un po’ di più (ci sono lievi variazioni da esemplare a esemplare). Non è quindi questa la ragione primaria. Tutto dipende quindi dalle mutate spinte esercitate dall’aria, a loro volta legate alle qualità superficiali del pallone. Esaminiamo ora i quattro succitati fenomeni aerodinamici.

Penetrazione aerodinamica

La penetrazione dello Jabulani potrebbe essere rapportata alla levigatezza della sua superficie. In effetti, la levigatezza diminuisce l'attrito con l'aria, specie a bassa velocità, e quindi allunga la gittata. Ma è davvero così liscio questo pallone? Jabulani è abbastanza liscio, ma lo è comunque meno del Teamgeist. La sua superficie è caratterizzata da piccoli rilievi che creano un effetto "pelle d'oca" e che sono stati ideati per favorire il grip con i guanti del portiere e la scarpetta del giocatore.

Come mai, allora, il più liscio Teamgeist non era in grado di penetrare l'aria altrettanto bene? Questo non è affatto strano nell'aerodinamica. Bisogna innanzitutto considerare che nel caso di un "corpo tozzo", qual'è una sfera, la principale resistenza all'avanzamento è causata dalla *scia* che si forma alle spalle del pallone e non dallo sfregamento sulla superficie, più importante invece per i corpi affusolati.

La scia è causata dal flusso d'aria che si divarica quando incontra il pallone, che ne lambisce una porzione dei fianchi curvi, ma che poi non riesce a richiudersi dietro di esso. La scia corrisponde a una zona vorticoso dove si ha un'ingente cessione di energia e dove quindi la pressione cade. Possiamo dire che si tratta di una regione di risucchio. Ebbene, la superficie dello Jabulani influenza le qualità della scia che è diversa da quella causata, ad esempio, dal più liscio Teamgeist. È proprio questa diversità che lo favorisce nella penetrazione.

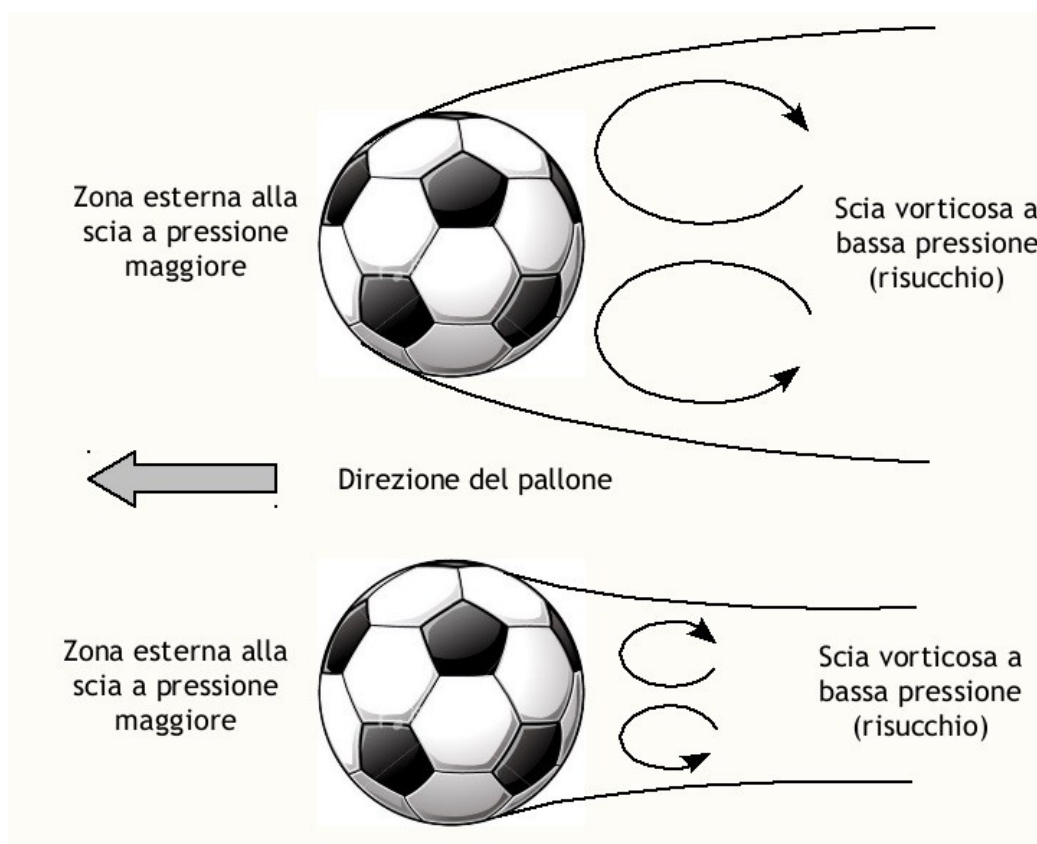
Non si può a questo riguardo non considerare che la superficie del nuovo pallone è solcata da scanalature continue, gli "aero grooves". Queste svolgono una funzione simile a quella degli incavi sulle palle da golf: favoriscono la turbolenza (disordine) del flusso che lambisce la sfera. Se non ci fossero gli aero grooves a molte velocità che risultano abituali in campo il pallone sarebbe lambito da una corrente con caratteristiche laminari, cioè ordinatamente incanalata, formata da tanti filetti paralleli.

Anche queste considerazioni possono apparire curiose. Com'è possibile, ci si chiederà, che una corrente turbolenta intorno alla sfera favorisca la penetrazione aerodinamica della stessa? Ci si aspetterebbe che la turbolenza eserciti piuttosto un'azione frenante.

Un flusso turbolento sfrega di più sulla superficie di uno laminare, è ben vero, ma le sue molecole agitate "sgomitano" come giocatori in un tackle. Così, in luogo di scivolare via dritta, la corrente cerca di occupare gli spazi laterali e resta più a lungo aderente alla sfera. In pratica gli aero grooves, sia pure in modo un po' discontinuo (come illustrano alcuni esperimenti in galleria), aiutano l'aria a curvare intorno al pallone e a richiudersi meglio dietro di esso. La conseguenza è una scia di vortici più stretta e quindi meno risucchio, meno resistenza.

Ecco perché Jabulani parte come un missile, magari passando alto sopra la traversa. I giocatori che battono una punizione devono ricalibrare il comando motorio dei loro piedi, un'implicazione neurofisiologica che qualche giocatore sa governare meglio di altri. Non dev'essere comunque tanto semplice, a giudicare dagli svarioni che si sono visti sullo schermo (si esclude Forlan dell'Uruguay che ha capito tutto).

Grafica penetrazione aerodinamica



Sopra: il pallone viene lambito da un flusso d'aria ordinato (laminare) che presto scivola via di lato, non riuscendo a seguire il profilo della superficie. Sotto: il flusso è disordinato (turbolento), quindi sgomita e resta più a lungo incollato alla superficie. Nel primo caso la scia di vortici è larga e il risucchio (freno di coda) elevato, nel secondo caso la scia è stretta e il risucchio attenuato.

Nota tecnica:

La pressione nella scia cala, in quanto si ha in essa una forte dissipazione energetica dovuta ai moti vorticosi. Il flusso non riesce a ricomporsi subito, stabilendo le condizioni originarie a monte. La differenza di pressione tra monte e valle è detta "resistenza di scia".

Sbandamento

Veniamo allo sbandamento. Da notare che questa manifestazione è stata osservata a fondo per la prima volta nel baseball, sino a sviluppare un vero e proprio culto per essa. C'è in effetti in questa disciplina un lancio particolare, appannaggio dei migliori giocatori, che prende il nome di “knuckleball” è che è finalizzato proprio a confondere il battitore con degli scarti improvvisi. Il lanciatore deve afferrare la palla soltanto con i polpastrelli e poi imprimerle un impulso in avanti, accompagnandolo da un calibrato movimento di avvvitamento del polso. In tal modo la palla segue la traiettoria, ruotando leggermente intorno a un asse diretto come la traiettoria stessa.

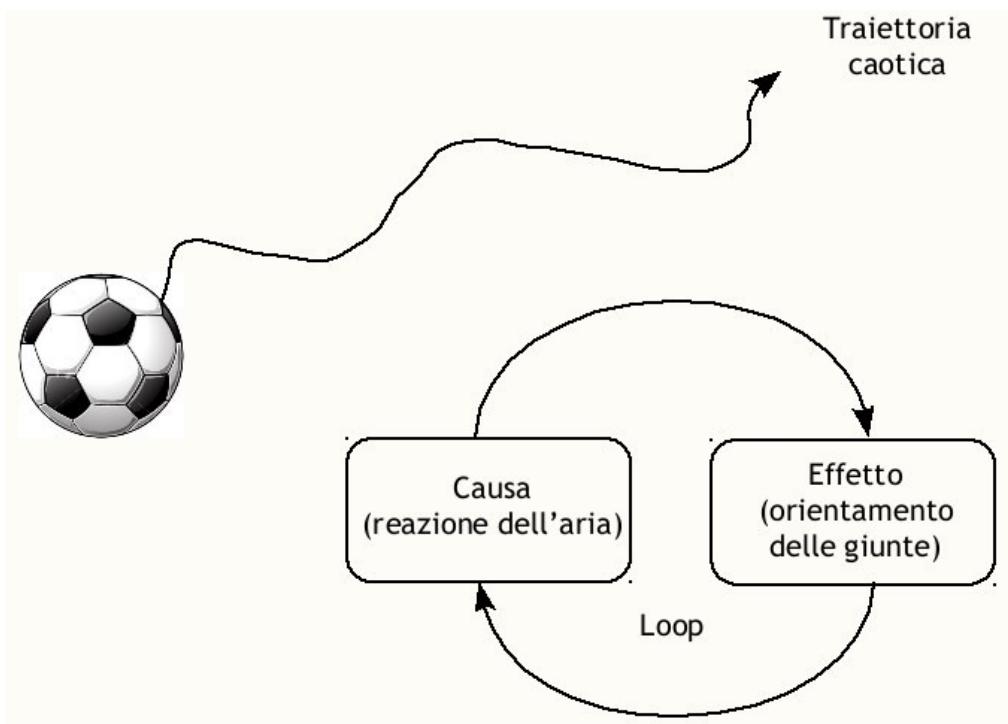
Il lento moto di avvvitamento della palla espone in modo variabile nello spazio le grossolane e concentrate cuciture riportate sulla superficie sferica. Ne deriva una serie di reazioni dell'aria che si scaricano in modo asimmetrico sulla sfera la quale va pertanto soggetta a scarti abbastanza netti. Lo stesso avviene col pallone Jabulani, anche se in questo caso non sono le cuciture a essere la causa di tutto. Jabulani è infatti privo di cuciture; le giunte sono ottenute con un procedimento termico.

Grazie all'evoluzione dei materiali, la superficie dei palloni si compone oggi di un *minor numero di pezzi*. Jabulani ne ha solo otto, veramente pochi, il che porta a una sfericità migliore. Tuttavia, le termosaldature seguono più esigenze costruttive che aerodinamiche. Paradossalmente, proprio il fatto che siano poche può spiegare gli sbandamenti. Bisogna tenere presente che la superficie di Jabulani è contraddistinta da aero grooves ben distribuiti e da una fine spaziatura dei rilievi finalizzati all'ottenimento del grip. In altre parole, la superficie è piuttosto omogenea, se non fosse per le giunte tra gli elementi costitutivi e alcuni pannelli triangolari con differenti caratteristiche di superficie.

Poco conta che questi sbalzi siano minimi. L'aerodinamica è infatti condizionata da uno strato molto sottile a ridosso dell'oggetto lambito, lo “strato limite”, ben noto agli ingegneri aeronautici. S'intuisce insomma che gli sbalzi localizzati e i pannelli triangolari rendono asimmetrica la reazione della palla durante il volo. Sbalzi sono presenti anche nei palloni di tipo vecchio e, anzi, in presenza di cuciture grossolane sono evidentemente ancora più marcati. Tuttavia, quando sono numerosi incidono meno, giacché concorrono a rendere la superficie globalmente più omogenea.

Ora, i palloni che viaggiano ruotando poco su sé stessi possono scartare vistosamente sotto l'influsso delle asimmetrie, proprio come nel caso della palla da baseball. Ogni spostamento orienta le saldature e i pannelli in modo diverso rispetto all'aria incidente; ciò determina a catena altri spostamenti e altri orientamenti. Si genera un loop causa-effetto caotico che sortisce una traiettoria di fatto imprevedibile. Se invece il pallone ruota velocemente le asimmetrie si distribuiscono meglio nell'unità di tempo e quindi giocano un ruolo marginale. Non è un mistero che Jabulani, sotto l'influenza di quelle disomogeneità localizzate (concentrate come le cuciture della palla da baseball), possa scartare imprevedibilmente.

Grafica sbandamento



Cuciture o giunture e pannelli possono rendere asimmetriche le reazioni scaricate dall'aria. Questo vale specialmente quando tali disuniformità sono poche e quindi concentrate. Se il pallone ruota velocemente durante il tragitto le disuniformità si distribuiscono, ma se ruota poco o sta quasi fermo s'innescia un loop causa-effetto tra le reazioni dell'aria e l'orientamento degli sbalzi. La traiettoria diventa a tutti gli effetti caotica. Durante il processo può persino succedere che la lenta rotazione del pallone inverta il proprio verso, oltre che il proprio orientamento. Con un termine mutuato dal baseball il fenomeno viene indicato anche come "knuckleball".

Nota tecnica:

I loop causa-effetto (retroazione) sono caratteristici della teoria del caos e sono in generale affascinanti per le eventuali strutture organizzate cui possono dare luogo. La teoria del caos rende conto di due importanti fattori: spiega perché minime fluttuazioni possano amplificarsi e perché il decorso del processo diventi imprevedibile. Questa imprevedibilità è intrinseca, cioè non può essere risolta, qualunque sia la potenza di calcolo a disposizione.

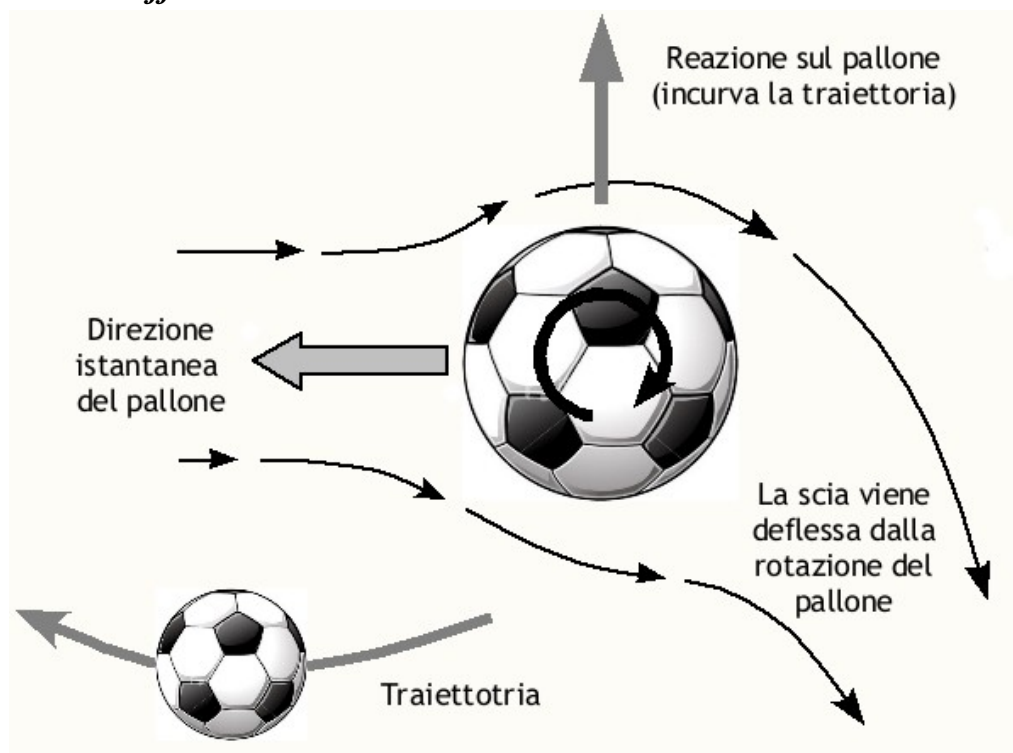
Tiro a effetto

Passiamo al tiro a effetto. Esso si verifica quando la palla ruota velocemente durante il volo: la scia viene deflessa da una parte, quasi fosse schiaffeggiata, e il pallone viene per reazione sospinto dall'altra. Tale deflessione è in parte alla base della portanza che sorregge i velivoli (anche un'ala devia il flusso d'aria), sebbene la spiegazione esaustiva del caso aeronautico sia più sfaccettata. Con lo Jabulani l'effetto della deflessione è inizialmente meno marcato, in quanto la scia, come si diceva, è meno larga. C'è in pratica meno aria che viene deflessa.

Va detto inoltre che per essere deflessa dalla rotazione l'aria che lambisce il pallone richiede sempre un certo lasso di tempo, poiché ha una propria inerzia. In questo senso il disturbo delle giunte asimmetriche (seppure meno marcato per i palloni in rotazione) rallenta ulteriormente il fenomeno, cioè impedisce il subitaneo trascinarsi dell'aria circostante da un lato del pallone. Quando tuttavia è passato un po' di tempo la deflessione tende a stabilizzarsi. In aggiunta, a quel punto il pallone ha anche rallentato la sua corsa, così che la turbolenza intorno ad esso è meno marcata e la scia più larga. C'è insomma a quel punto più aria che viene spinta di fianco.

Questo spiega perché i tiri a effetto tendono con lo Jabulani a incurvarsi di più nella porzione terminale del loro tragitto. Lo si vede particolarmente bene nei calci d'angolo: il pallone parte con una traiettoria appena incurvata, ma nella porzione centrale dell'area di rigore piega vistosamente di lato, quasi avesse cambiato idea in merito alla propria direzione.

Grafica tiro a effetto



Il tiro a effetto può ricondursi in buona parte al principio di azione e reazione. L'aria viene deflessa lateralmente dal pallone rotante. Per reazione il pallone si sposta nella direzione opposta, tracciando così una traiettoria aerea incurvata.

Nota tecnica:

Alla spinta trasversale che incurva la traiettoria concorre anche la differenza di pressione ai due lati del pallone, a sua volta dovuta alle diverse velocità della corrente d'aria. Questo fenomeno è spiegabile con la legge di Bernoulli. La deflessione dell'aria e la legge di Bernoulli (che però è valida a rigore in assenza di dissipazione) sono in parte due aspetti di uno stesso fenomeno, in parte si coniugano e, in parte, possono scavalcarsi l'un l'altro. Per maggiori ragguagli sulla legge di Bernoulli applicata al pallone si veda anche in Kalidoxa "Il tiro a effetto nel calcio".

Avvertenza:

Su Internet, sulla carta stampata e in TV il tiro a effetto è stato spesso spiegato come una conseguenza del diverso attrito che incontrano i due lati del pallone che sfregano contro l'aria. La spiegazione è errata, per almeno due motivi. Prima di tutto, se così fosse il pallone dovrebbe piegare nella direzione opposta rispetto alla realtà. In secondo luogo, per un corpo tozzo come una sfera l'attrito conta molto poco rispetto agli effetti di scia.

Tiro spiovente

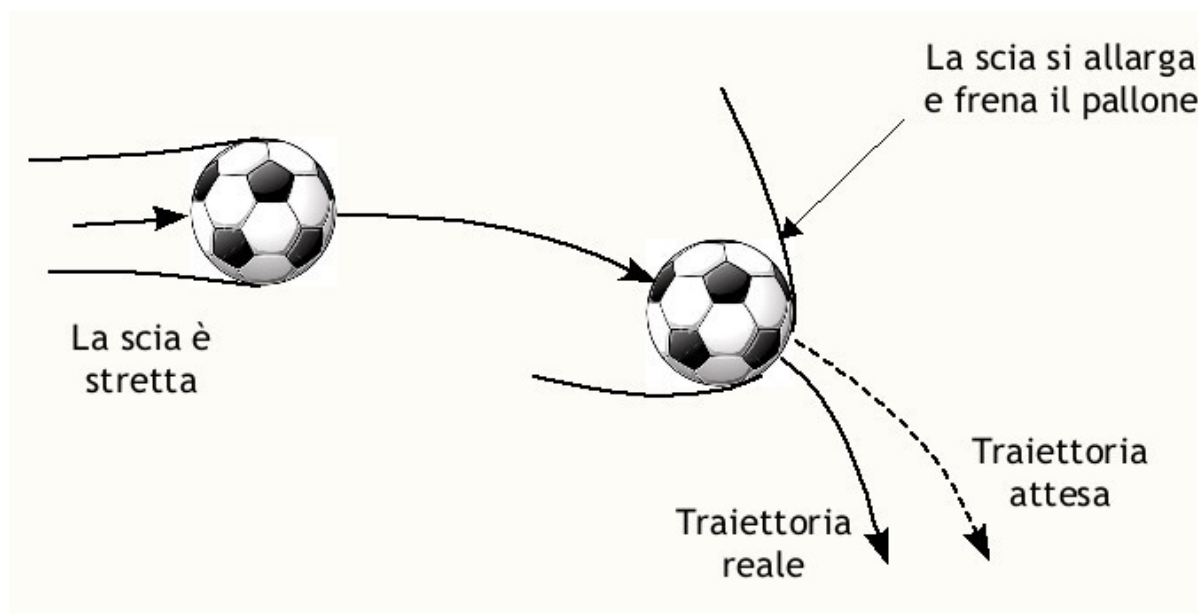
Veniamo infine al tiro spiovente. Tutti i palloni subiscono un brusco aumento della resistenza quando rallentano in aria sino a una soglia critica di velocità. Come si spiega il fatto? In quella fase il flusso d'aria sui fianchi del pallone, sempre più lento, passa da turbolento a laminare, cioè da disordinato a ordinato (sussiste un'intermedia fase di transizione).

Come abbiamo visto, una corrente laminare fatica a restare incollata alla superficie, quindi l'abbandona prima, ossia più verso il fronte della sfera, insomma verso monte, più davanti. La conseguenza è ovvia: la scia che si forma a valle si allarga bruscamente e quindi determina un risucchio aumentato. Il pallone frena. Ciò spiega dunque l'abbassamento del pallone a ridosso della porta.

Con Jabulani è esattamente lo stesso, solo che la soglia è spostata, per via delle nuove caratteristiche della palla. Poiché la sua superficie solcata dagli aero grooves aumenta la turbolenza, la soglia è spostata verso velocità inferiori. Come dire che la corrente sui fianchi della sfera resta in condizioni turbolente anche per velocità inferiori. Così, laddove il pallone tradizionale inizia velocemente ad abbassarsi lo Jabulani resta ancora sostenuto.

Anche questo fattore, come già quello inerente la diminuita resistenza all'avanzamento, concorre ai tiri errati da parte dei goleador. Per contro, è anche vero che un portiere abituato ai palloni precedenti possa essere sorpreso dalla traiettoria improvvisamente ripida che Jabulani può tracciare a velocità più basse di prima.

Grafica tiro spiovente



Dissipando energia nel volo, il pallone può rallentare sino a entrare in una fase critica. Qui la scia si allarga piuttosto bruscamente, aumentando la zona di risucchio a valle. Ne consegue un brusco aumento della resistenza. La traiettoria si fa ripida e sorprende il portiere.

Nota tecnica:

La fase critica è costituita dal passaggio della corrente che lambisce il pallone da una condizione disordinata di moto turbolento a una condizione ordinata di moto laminare. I filetti del moto laminare scorrono uno sull'altro, spingendo poco di lato; non riescono quindi a seguire la curvatura del pallone per più di un certo tratto. Pertanto, il distacco della vena si ha prima (più verso monte) e determina una scia più larga alle spalle del pallone. La collocazione della transizione tra moto turbolento e moto laminare dipende dalle caratteristiche del pallone, oltre che dalla sua velocità.

Commento conclusivo

Jabulani è certamente un prodotto all'avanguardia. Il suo comportamento è voluto: non riflette difetti costruttivi, né di progetto. Bisogna però valutare se le innovazioni siano gradite, cioè se il proposito di fondo siano azzeccate.

Il gioco del calcio, come avviene in moltissime altre discipline, è certamente fatto di capacità di reagire all'imprevisto, ma conta anche l'abilità, quasi un'arte, nel produrre effetti sistematici. Quale dei due aspetti deve prevalere?

La risposta, più che dalle federazioni calcistiche nazionali e internazionali e più che dai giocatori, dipende in ultima istanza dal mercato, cioè dagli spettatori che possono gradire o non gradire quello che vedono.



La struttura di Jabulani. Si notano in particolare l'effetto "pelle d'oca" (finalizzato ad aumentare il grip con i guanti del portiere e la scarpetta del giocatore), i pannelli triangolari e gli "aero grooves", i solchi che hanno una funzione simile a quella degli incavi sulle palle da golf: aumentare il disordine (turbolenza) del flusso che lambisce il pallone. I rilievi con funzione di grip sono riportati in modo omogeneo su una superficie altrimenti liscia. Jabulani è composto di solo otto pezzi superficiali, ciò che migliora la sua sfericità (quasi perfetta), ma introduce inevitabilmente delle asimmetrie.

<http://sportemotori.blogosfere.it/images/jabulani-adidas6.jpg>

Nota inserita nel giugno 2011:

Chi volesse saperne di più sull'aerodinamica del pallone può studiare il libro a carattere divulgativo “Mai dire effetto – Capire la sorprendente aerodinamica del pallone” edito da GiveMeAChance:

<http://www.givemeachance.it/autori/roberto-weitnauer/GMC-Roberto-Weitnauer-Mai-Dire-Effetto.php>