

Nicola Ludwig Gianbruno Guerrierio

La scienza nel pallone

I segreti del calcio svelati con la fisica

Chiavi di lettura a cura di
Lisa Vozza e Federico Tibone

indice

<i>Introduzione</i>	5
1. Pallone o sfera?	11
2. Le forze in campo	23
3. Il mitico effetto Magnus	39
4. Palla e piede, l'incontro fatale	63
5. Quando il calcio non usa i piedi	85
6. Capriole e acrobazie	105
7. La zona proibita	127
8. Piede e occhio	141
<i>Conclusione</i>	155
<i>Ringraziamenti</i>	162
<i>Bibliografia</i>	164
<i>12 miti da sfatare</i>	166
<i>Forse non sapevi che...</i>	170
<i>Crediti per le immagini</i>	174
<i>Indice analitico</i>	175

Introduzione

Che la passione per il calcio possa scuotere non soltanto gli animi, ma anche – e letteralmente – la Terra stessa, lo dimostra un singolare episodio avvenuto qualche anno fa.

Nel 2007, rianalizzando i dati raccolti l'anno precedente durante una campagna internazionale di rilevazioni sulla situazione sismica del Camerun, un gruppo di geologi si accorse che nel «rumore» di fondo che caratterizza la perenne attività tellurica del pianeta i sismografi avevano registrato alcuni strani segnali.

Si trattava di una serie di tremori ad alta frequenza, rilevati da due terzi delle 32 stazioni sismiche allestite in tutto il Paese, che si manifestavano contemporaneamente. Dato che nessun movimento tellurico avrebbe potuto propagarsi così rapidamente, i ricercatori rimasero alquanto perplessi.

Dopo un po' l'arcano fu svelato grazie all'intuizione di un geologo locale che non pensava soltanto alla scienza. I tremori si erano manifestati in perfetta coincidenza con i gol segnati dai *Lions*, la squadra nazionale del Camerun, nelle partite di Coppa d'Africa giocate a cavallo tra il gennaio e il febbraio del 2006.

A ogni rete di Eto'o e compagni tutti gli spettatori si erano messi a pestare freneticamente i piedi,

Nel sito www.zanichelli.it/chiavidilettura si trovano collegamenti a numerosi filmati delle principali prodezze calcistiche discusse nel testo.



la forma locale dell'esultanza, generando quello che i ricercatori battezzarono *footquake*, «pedemoto». Le stazioni sismiche che non avevano rilevato il fenomeno erano nelle zone del Paese in cui il segnale televisivo non arrivava.

La «scossa» più forte si verificò il 4 febbraio 2006, quando il Camerun segnò nei tempi supplementari il gol del pareggio contro la Costa d'Avorio, in quella che però fu la sua ultima partita di Coppa: alle semifinali passarono infatti gli ivoriani, vincendo 12-11 dopo un'epica sequenza di calci di rigore.

Un pallone su misura

La nostra testa è approssimativamente una sfera. Prendete un metro, di quelli a fettuccia che regalano nei negozi di mobili: sia che misuriate la circonferenza del capo in orizzontale, dalla fronte alla nuca,

oppure in verticale, dal mento in su, se non siete un gigante o un nano otterrete sempre più o meno lo stesso risultato: una sessantina di centimetri.

Provate ora a tenere in mano un oggetto molto più interessante di una testa umana: un pallone da calcio. Scoprirete che, centimetro più o centimetro meno, il pallone e la vostra testa hanno le stesse dimensioni, e una mano aperta li trattiene a fatica.

Il pallone da calcio, sebbene rappresenti con la sua sfericità una figura geometrica astratta, è tra gli oggetti usati nello sport quello più simile alla parte più qualificante del corpo umano, la testa. E forse è proprio da questa unione fra perfezione geometrica e familiarità che nasce il successo dello sport più popolare del mondo.

I racconti che tramandano come il più antico antenato dell'odierno calcio fosse un gioco piuttosto barbaro, nel quale cavalieri delle steppe usavano come palla la testa mozzata di un nemico, non sono poi così lontani da una verità geometrica inconfutabile: di tutti gli sport, il calcio è quello nel quale più l'uomo identifica qualcosa di sé stesso, una parte del corpo così importante da essere diventata sinonimo di comando, «il capo».

Giocare a calcio, ma anche soltanto guardarlo, amarlo o viverlo soffrendo, non è forse che un pezzetto della grande lotta dell'uomo per conoscere sé stesso (attività che, come ben sa chi la pratica, porta spesso a tenere fra le mani quello sferoide di circa 20 cm di diametro, alla strenua ricerca di un obiettivo, che è appunto il significato originario della parola inglese *goal*).

Il calcio – nella sua sconvolgente semplicità di 22 persone che inseguono un pallone – è dunque uno sport geometricamente perfetto per quanto riguarda l'adattabilità alle misure del corpo umano.

Il regolamento della FIFA (*Fédération Internationale de Football Association*) prescrive che il pallone abbia un diametro di circa 22 centimetri, più o meno la spanna di un uomo adulto.

Anche questa somiglianza non è casuale, perché per poter tenere in mano un oggetto e stringerlo con sicurezza occorre poterlo avvolgere con le dita, mentre una sfera di diametro pari all'estensione della mano aperta sarà sicuramente di difficile presa.

La palla pensata per un gioco di piede nasce quindi proprio con le dimensioni adatte a renderne problematica la presa con una mano.*



* Per un certo periodo nel calcio di fine Ottocento le restrizioni sull'uso delle mani sono state ancora più stringenti di quelle previste dai regolamenti attuali: il portiere non esisteva e anche le rimesse laterali andavano fatte con una sola mano.

La scienza e il calcio

Del football – che si è evoluto nel corso dei secoli da divertimento disordinato del mondo contadino a sport d'élite delle scuole inglesi, diventando poi popolare in ogni angolo del mondo – si occupa da alcuni anni anche la scienza.

La fisica del calcio, sviluppata soprattutto dagli anglosassoni, che amano confrontare la teoria con la realtà per scoprirvi regole e leggi nascoste, appartiene ormai a quell'insieme di discipline scientifiche sempre più intrinsecamente legate al mondo dello sport.

Non ci aspettiamo certo che un buon calciatore debba conoscere le leggi della balistica, né che alla scuola degli allenatori di Coverciano si introducano corsi di meccanica dei fluidi; d'altra parte, è un dato di fatto che la progettazione dei nuovi materiali e l'evoluzione tattica e atletica del gioco sono sempre più legate alla comprensione del suo funzionamento fisico.

L'Italia è un Paese che ama il calcio, ma forse non apprezza altrettanto le scienze applicate. In questo libro invitiamo il lettore a dare uno sguardo alle leggi fisiche che governano le gesta dei calciatori e al panorama della ricerca internazionale in questo campo.

Conoscere le regole della meccanica che determinano la traiettoria del pallone non toglie nulla all'emozione di guardare una bella azione in area di rigore. Anzi, riflettendo sugli aspetti scientifici del

calcio si può provare una soddisfazione ulteriore: quella di capire che un pallone calciato con maestria da Lionel Messi supera il portiere grazie alle stesse leggi della natura che permettono agli aerei di volare, ai gatti di cadere sempre sulle quattro zampe e ai pianeti di girare senza sosta intorno al Sole.

Pallone o sfera?

Prese la palla ridendo e la scagliò a uno dei suoi compagni. Riuscì a evitare uno degli avversari e ne mandò un altro a gambe all'aria. Rialzò in piedi uno dei suoi amici, mentre da tutte le parti riecheggiavano altissime grida: «È fuori gioco!», «È troppo bassa!», «È troppo alta!», «È troppo corta!», «Passala indietro nella mischia!».

Non è la cronaca di un incontro di calcio degenerato in rissa in un campionato di provincia, ma il resoconto di una partita di *harpastum* o *pulverulentus*, l'antico gioco che i Romani avevano importato dalla Grecia, antenato del rugby e del calcio. L'autore è Antifane e l'anno il 388 dell'era volgare; il campo e le squadre purtroppo ci sono ignoti.

Sappiamo invece di più sui protagonisti del primo confronto fra calcio «latino» e calcio «inglese»: esiste infatti anche la cronaca di una partita giocata fra gli antichi abitanti della Britannia e una squadra delle legioni romane ivi stanziata, un assaggio delle molte combattute finali di Coppa che si sarebbero giocate quasi due millenni dopo.

A quanto pare già allora il calcio d'Oltremarica dava filo da torcere alla «scuola italiana»: la cronaca riporta infatti che la partita finì 1 a 0 per i Britanni.

Le origini di tutto

Il gioco del calcio si è evoluto nel corso della storia non soltanto grazie alla progressiva regolamentazione degli sport avvenuta in Europa con la trasformazione della civiltà da contadina a urbana, ma anche grazie allo sviluppo dei materiali utilizzati per realizzare i palloni.

La palla con cui gli antichi romani giocavano l'*harpastum* era ottenuta riempiendo una sfera di cuoio con lana o stoppa. Dal Medioevo agli albori dell'età industriale sono molteplici le testimonianze di oggetti in grado di rimbalzare grazie all'uso di camere d'aria tenute sotto pressione: si trattava di vesciche animali, per lo più di maiali, gonfiabili e protette all'esterno da uno strato di cuoio. La loro forma irregolare generava però a ogni rimbalzo traiettorie imprevedibili, come quelle che oggi deliziano gli appassionati di rugby.

Gli antichi inventori del gioco del pallone avevano anche le conoscenze geometriche necessarie per progettare un oggetto che approssimasse una sfera ma, come per molte altre scoperte scientifiche, mancava loro la tecnologia per realizzarlo (e forse non avrebbero comunque osato impiegare la scoperta di un filosofo per un'applicazione banale come un gioco).

Tutto ciò farebbe pensare, in modo un po' semplicistico ed eurocentrico, a un'origine nostrana del calcio: l'antenato diffuso dalle legioni di Roma in tutti i territori dell'impero sarebbe poi sopravvissuto, sotto differenti forme più o meno imbarbarite nelle diverse nazioni, fino alla ri-nobilitazione attua-

ta nei college inglesi di metà Ottocento, dove è nato il moderno *football*.

È tuttavia più probabile l'ipotesi poligenetica, secondo cui giochi in qualche modo affini al calcio sarebbero nati in modo indipendente presso diverse culture antiche. E chissà che non sia stata proprio questa origine condivisa a fare oggi del calcio lo sport più seguito al mondo.

Nel miglioramento del gioco l'America centrale ha forse anticipato un po' l'Europa. Agli inizi del Cinquecento destò infatti grande meraviglia nei *conquistadores* spagnoli del Nuovo Mondo, che già conoscevano l'uso del pallone, il fatto che anche i nativi americani, in particolare Aztechi e Maya, praticassero un gioco simile, ma con un oggetto dalle straordinarie proprietà elastiche: il primo pallone di gomma.



Figura 1. Due giocatori di *tlachtli* nel Messico precolombiano. L'obiettivo del gioco era far passare la palla nei fori scolpiti in grandi pietre sospese in alto.

La gomma era ottenuta dal lattice dell'albero omonimo mescolato in diverse concentrazioni con la linfa di un'altra pianta molto diffusa in Messico, la *Ipomea purpurea*.

Il materiale così prodotto non aveva nulla da invidiare a quello inventato molti secoli dopo da Charles Goodyear, partendo sempre dal caucciù, e che permise la realizzazione delle prime camere d'aria per pneumatici e anche per palloni.

Il gioco degli Aztechi si chiamava *tlachtli* ed era una via di mezzo fra il nostro calcio e il basket: gli atleti non potevano toccare la palla con le mani, ma soltanto con anche, ginocchia e gomiti, e per vincere la partita dovevano fare «canestro» in un buco scavato in una grande pietra appesa a una parete. In alternativa si potevano fare punti colpendo con la palla alcune zone particolari ai bordi del campo di gioco.

Fare centro nella pietra era talmente difficile che il vincitore della partita – colui che riusciva a segnare – era considerato una specie di semi-divinità e gli venivano consegnati prigionieri di guerra per fare sacrifici umani. A quanto pare la violenza negli stadi non è quindi una novità dei nostri giorni.

Sempre in America, e precisamente negli Stati Uniti, è nato il primo pallone da calcio moderno: univa una camera d'aria in gomma e una copertura in cuoio e fu realizzato proprio dal signor Goodyear nel 1855. Sei anni dopo, nel 1861, i college inglesi si accordarono su un regolamento unificato per il gioco del football. Gli elementi base della storia del calcio erano nati.

Giocare a icosaedro

Dal 1872 le regole della English Football Association, e in seguito della FIFA, stabiliscono dimensioni e peso del pallone da calcio.

A inizio partita la circonferenza massima della sfera di gioco deve essere compresa fra 68 e 70 centimetri; dunque il diametro del pallone è circa 22 cm. Il suo peso – leggermente aumentato nel 1937 – deve stare fra i 410 e i 450 grammi, e lo si deve gonfiare a una pressione compresa tra 1,6 e 2,1 atmosfere.*

Le regole però non definiscono i materiali da utilizzare per costruire il pallone, né il procedimento geometrico da usare per ottenere la forma sferica.

Dalla nascita del calcio regolamentato fino agli anni Sessanta del secolo scorso il pallone più diffuso era composto da 18 fasce di cuoio lunghe e strette, che facilitavano la cucitura ma avevano il difetto di non garantire una buona sfericità.



* Forse a dimostrazione dell'arbitrarietà delle leggi del calcio, il sito ufficiale della FIFA dà come dimensioni equivalenti nel sistema anglosassone 27–28 pollici e 14–16 onces. Questi valori corrispondono in realtà a 68,6–71,1 cm e a 397–454 g: le misure sono convertite approssimando per difetto sia il fattore di conversione, sia il risultato! L'effetto bizzarro è che un pallone del campionato inglese può essere più grande e più leggero di quello usato in Serie A o nella Liga.

L'esigenza di giocare con una sfera deriva da un problema di ordine fisico che, come spesso accade quando la fisica si applica alla realtà, è associato a un dilemma di tipo geometrico. La fisica dell'urto fra corpi elastici richiede che, per evitare traiettorie imprevedibili dopo il rimbalzo, il pallone sia perfettamente sferico; in questo modo infatti la traiettoria successiva all'urto non dipende dal punto di contatto fra il pallone e la superficie colpita.

Il problema geometrico nasce quando si cerca di costruire un solido a partire da superfici piane: con quattro triangoli si può costruire un tetraedro, con sei quadrati un cubo, con otto triangoli un ottaedro, con dodici pentagoni un dodecaedro e con venti triangoli un icosaedro (figura 2).

Ma anche gli ultimi tra questi poliedri regolari sono una pessima approssimazione di una sfera. Con quali elementi di base della geometria piana si può costruire un oggetto che abbia una forma vicina a quella sferica?

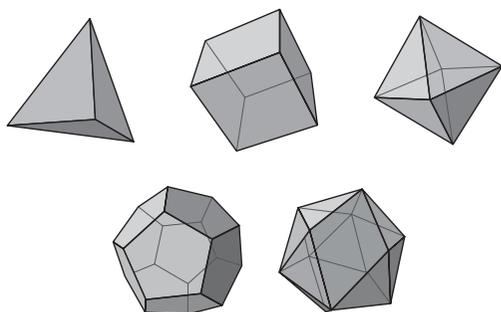


Figura 2. I poliedri regolari o *solidi platonici*.

Il problema fu risolto già nell'antichità dai pensatori greci, che molto si dilettaevano di geometria. Ad Archimede di Siracusa è attribuita l'invenzione, o per meglio dire la scoperta, dei cosiddetti *solidi archimedei*: si tratta di 13 poliedri convessi con le facce formate da poligoni regolari di diverso tipo e una distribuzione dei vertici omogenea. Fra questi, due sono quelli che più si avvicinano alla forma della sfera: l'icosaedro troncato e il rombicosidodecaedro (figura 3).

L'icosaedro troncato si ottiene unendo 32 poligoni regolari: 12 pentagoni e 20 esagoni. Si tratta del solido che meglio approssima una sfera usando un numero limitato di figure piane. Per realizzare un rombicosidodecaedro infatti occorrono ben 62 elementi: 12 pentagoni, 30 quadrati e 20 triangoli.

Il volume dell'icosaedro troncato è pari a circa l'87% di quello della sfera circoscritta, mentre il rombicosidodecaedro la approssima al 94%.

Questo farebbe supporre che il modello migliore per realizzare un pallone da calcio sia proprio il rombicosidodecaedro; ma c'è un'importante ragio-

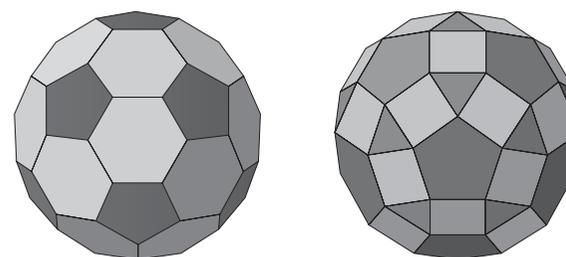


Figura 3. L'icosaedro troncato e il rombicosidodecaedro.

ne pratica – che va al di là della difficoltà di pronunciarne il nome – per cui si è scelto invece l'altro.

Esiste infatti una relazione, detta di Eulero, che lega tra loro il numero delle facce, degli spigoli e dei vertici in qualsiasi poliedro convesso:

$$\text{numero spigoli} = \text{numero facce} + \text{numero vertici} - 2$$

Poiché i due icosaedri hanno entrambi 60 vertici, questa relazione ci dice che un icosaedro troncato ha 90 spigoli, mentre un rombicosidodecaedro ne ha 120. Se si tiene conto che nella realizzazione di un pallone reale ogni spigolo richiede una cucitura, si capisce perché sia stato scelto l'icosaedro troncato.**

D'altronde in una palla gonfiata i pentagoni e gli esagoni si trasformano in superfici curve, perché deformati dalla pressione interna: si raggiunge così facilmente un volume superiore al 95% di quello della sfera circoscritta.

La figura 4 rappresenta ancora oggi in tutto il mondo l'emblema principale del calcio (sebbene, come vedremo, la struttura del pallone sia cambiata nell'ultimo ventennio): un icosaedro troncato gonfiato.

Questo modello ha raggiunto la massima popolarità durante il Campionato del mondo disputatosi in Mes-

** Questo poliedro ha anche ispirato le celebri «cupole geodetiche» progettate dall'architetto statunitense Richard Buckminster Fuller. La natura peraltro aveva già pensato a questa forma, come si è capito nel 1985 con la scoperta della molecola sferica che è stata battezzata appunto *fullerene*: è formata da 60 atomi di carbonio che si trovano proprio ai vertici di un icosaedro troncato.



Figura 4. Un icosaedro troncato e «gonfiato».

sico nel 1970, quando fu realizzato con pentagoni neri ed esagoni bianchi, per dargli maggiore visibilità nelle riprese televisive che per la prima volta in quella edizione dei Mondiali erano trasmesse in tutto il mondo via satellite. Ecco perché questo tipo di pallone è da allora noto come *Telstar*, il nome dei primi satelliti per le telecomunicazioni.

Pioggia, vento e rughe

Se l'innovazione principale ottenuta con il pallone *Telstar* è stata quella di aumentare la sfericità della palla mantenendo minimo il numero delle cuciture, le innovazioni successive, soprattutto quelle degli ultimi vent'anni, hanno avuto due obiettivi principali: sostituire il cuoio con materiali artificiali e ridurre l'effetto delle cuciture sul profilo aerodinamico del pallone.

Il grande difetto del cuoio è la sua straordinaria capacità di assorbire acqua (anche per parecchie

volte il proprio peso) e di indurirsi. Durante le partite giocate sotto la pioggia, perciò, il pallone di cuoio diventava pesante e rigido come una palla da cannone. Oltre a evitare questo spiacevole inconveniente, l'uso dei materiali sintetici ha introdotto un'altra grande rivoluzione nella tecnologia dei palloni da calcio: le termosaldature.

I materiali plastici infatti si possono saldare a caldo invece di cucirli, riducendo così al minimo le asperità presenti sulla superficie. I primi palloni con la superficie ricoperta di poliuretano perfettamente impermeabile sono stati adottati nel 1994, per i Mondiali di calcio giocati negli Stati Uniti. Dall'edizione del 2006, invece, la classica geometria dell'icosaedro troncato è stata definitivamente abbandonata per essere sostituita da un numero ridotto di calotte.

Il pallone *Jabulani* (figura 5), protagonista del Campionato del mondo del 2010 in Sudafrica, è realizzato con otto soli elementi plastici, curvi e termosaldati, ed è quasi perfettamente sferico.

Le asperità sulla superficie del pallone *Jabulani* erano state in linea teorica totalmente eliminate, salvo poi scoprire che una palla perfettamente levigata, rispetto a una con difetti di superficie, risente molto di più del vento e di altre forze devianti trasversali alla traiettoria, come la portanza laterale del famoso effetto Magnus, di cui parleremo nel capitolo 3.

Una sfera perfettamente liscia infatti si muove nell'aria generando turbolenze soltanto nella propria scia. Come vedremo, per avere stabilità nel volo occorre invece che si formino vortici anche davan-



Figura 5. Il pallone *Jabulani* introdotto in occasione dei Mondiali 2010 in Sudafrica.

ti alla sfera. Perciò sulla superficie dello *Jabulani* è stato necessario aggiungere scanalature e micro-zigrinature, imitando così l'effetto delle cuciture dei vecchi palloni rugosi.

Non è la prima volta che nella storia dell'evoluzione tecnologica si arriva a un traguardo, sulla base di modelli semplificati, per poi scoprire che i risultati sono diversi da quelli attesi e che occorre riconsiderare le ipotesi di partenza, magari aggiungendo artificialmente imperfezioni che erano state eliminate.

Per molti anni gli studiosi di aerodinamica hanno cercato invano di capire come potesse riuscire a volare il bombo (non il calabrone, come a volte si sente dire erroneamente).

Poi si è scoperto che le piccole ali di questo inset-



to tozzo e peloso gli permettono di volare grazie alla turbolenza che generano vorticando, alla viscosità dell'aria e al fatto che non sono lisce come le ali di un aeroplano, ma coperte di rugosità che rendono il moto dell'aria ancora più turbolento, contribuendo così alla portanza.

Uno studio del volo del bombo avrebbe forse potuto insegnare qualcosa anche ai progettisti di palloni da calcio.