Studio comparativo della prestazione fisica di atleti dilettanti effettuata su diverse superfici di gioco

Case Study 1: Medolla (MO) 2013

11

ecopneus
il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

in collaborazione con

UISP
sportpertutti

Università di Roma
Tor Vergata

Analisi comparata di parametri cinematici, dinamici, fisiologici e baropodometrici in atleti dilettanti, registrati su diverse superfici di gioco.

Sommario

Gruppo di Ricerca "Tor Vergata"

Direttore Scientifico: Prof. Stefano D'Ottavio
Prof. Giuseppe Annino - Prof. Antonio Buglione
Prof. Mario Esposito - Prof.ssa Laura Pantanella
Prof. Bruno Ruscello (Coord. Staff)
Dott.ssa Michela Di Claudio - Dott. Filippo Partipilo

Introduzione 7

Analisi della letteratura e considerazioni iniziali inerenti lo studio 8
Analisi dell'interazione prestazione-superfici 9
Analisi della meccanica degli urti 11
Influenza delle proprietà delle superfici sulla prevenzione degli infortuni 13

2. Fasi della ricerca 14

Disegno sperimentale 17
Protocollo di Studio 18
Strumentazione e Software 20
Analisi statistiche 21

3. Studi preliminari 22

Analisi di alcune risposte fisico-meccaniche dei materiali contenente gomma da Pneumatico Fuori Uso effettuate in laboratorio 24
Analisi della prestazione umana per la definizione del setting sperimentale 25
Scelta dei test per valutare i parametri fisiologici 25
Corsa a navetta 25
Test di Rapidità ed Agilità 26
Forza degli arti inferiori e stiffness 26
Risultati studio preliminare 26
Conclusioni del lavoro preliminare sulla prestazione umana 29

4. Studio "Analisi comparata di parametri cinematici, dinamici, fisiologici e posturali-funzionali, in atleti dilettanti, registrati su diverse superfici di gioco" 30

Materiali e Metodi 32
Strumentazione e Software 32
Campione 32

5. Comparazione di alcune proprietà fisiche delle pavimentazioni oggetto di studio 34

Restituzione elastica 36
Attrito volvente (rotolamento) 37
Attrito radente a seguito di urto standard 40

6. Comparazione di alcune performance fisiche e fisiologiche di un gruppo di atleti dilettanti, impegnati sulle pavimentazioni oggetto di studio 44

Analisi Cinematica, Dinamica e Fisiologica 46
Valutazioni condotte 46
Test di Rapidità 46
Test di Agilità 46
Test di Endurance a velocità costante e monitoraggio cardiaco 47
Test di Forza Reattivo Elastica 48
Baropodometria elettronica dinamica 48

Risultati e discussione 50

Conclusioni possibili e sviluppi futuri 79

Bibliografia 81

Introduzione

L'impatto delle pavimentazioni sintetiche (tartan, astro turf, ecc.) e naturali (erba, terra battuta, ecc.) sulla performance umana è stata ampiamente studiata. Digitando sui motori di ricerca indicizzati alcune stringhe di ricerca del tipo: [artificial pitches (n=23); artificial surfaces sport (n=64); indoor sport surfaces n=17; indoor sport surfaces injuries (n=4)] il numero di pubblicazioni scientifiche disponibili negli ultimi anni è di parecchie decine. La sintesi di quanto riportato in letteratura è che sicuramente l'impatto di alcune superfici sulla prestazione può essere suddivisa in:

- resa ed influenza della superficie sulla prestazione (effetti acuti);
- influenza della superficie sulla sopportabilità dei carichi di lavoro e dei microtraumi ripetuti (effetti cronici).

Scopo della presente ricerca è stato quello di verificare, comparando più superfici di gioco o di attività fisica, l'impatto acuto delle superfici sottoposte a studio sulla performance umana, valutata attraverso alcuni test da campo.

Le superfici studiate sono state:

- superficie del nuovo PalaMedolla[1] (MO), campo contenente materiali da riciclo di Pneumatici Fuori Uso - Ecopneus;
- superficie della palestra scolastica[2] del comune di Medolla (MO) con pavimentazione standard per attività fisica non agonistica;
- superficie della palestra per attività fisica e studio dell'Università di Roma "Tor Vergata", Laboratorio di Ricerca Scientifica *Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco"*[3]).

A tal fine sono state studiate anche alcune caratteristiche prettamente fisiche delle pavimentazioni, riconducibili a fenomeni di restituzione elastica, attrito radente ed attrito volvente, **ma solo nell'ambito di una ricerca mirata ad ottenere informazioni pertinenti sulla fisiologia dell'esercizio fisico umano sviluppato su superfici diverse**. L'ipotesi di ricerca era, infatti, quella di comparare le risposte in acuto ottenute in alcuni test di valutazione funzionale e posturale-funzionale da alcuni atleti dilettanti e svolti sulle diverse superfici di studio.

[1] di seguito indicato come NPM - Campo polivalente per Basket, Pallavolo, Pallamano, ecc.;
[2] di seguito indicato come PSM - palestra scolastica con superficie in piastrelle di materiale plastico;
[3] di seguito indicato come PUTV - palestra per attività di Fitness e di ricerca scientifica applicata allo Sport.

Analisi della letteratura e considerazioni iniziali inerenti lo studio

La prestazione sportiva, in termini generali, è stata definita come il risultato di un'attività fisica misurata secondo parametri cinematici e dinamici. L'incremento della performance si basa fortemente sulla trasformazione efficiente dell'energia chimica cellulare in energia meccanica a attraverso il sistema muscolo-scheletrico (Nigg, BM., and. Segesser B., 1992). L'energia meccanica prodotta permette al corpo di muoversi durante le attività sportive.
In tutte le forme di locomozione antigravitazionale sia umane che animali, sono caratterizzate dal rimbalzo sul terreno dove i muscoli, i tendini e i legamenti giocano un ruolo cruciale nell'accumulare e restituire energia meccanica (Cavagna GA et al, 1977; Alexander RM, 1988). Difatti, quando l'energia meccanica viene considerata come miglioramento dello sviluppo dell'attività fisica, tre strategie principali devono essere poste al centro dell'attenzione: (a) ottimizzare il sistema muscolo-scheletrico, (b) massimizzare il riuso di energia e (c) ridurre al minimo la perdita di energia (Nigg, BM., and. Segesser B., 1992, 2000).

Analisi dell'interazione prestazione-superfici

Durante i salti, il trotto e la corsa il sistema neuromuscolare si comporta come un singolo modello a molla lineare il cui punto di massa è equivalente alla massa del corpo (BlickhanR., 1989).
Pertanto, durante la locomozione, la stiffness degli arti inferiori rappresenta la stiffness di un sistema muscolo-scheletrico integrato dove il modello a molla lineare viene compresso durante la prima metà del tempo di contatto al suolo per poi allungarsi nella seconda metà del tempo di contatto (Farley CT., et al., 1998) (Immagine 1).

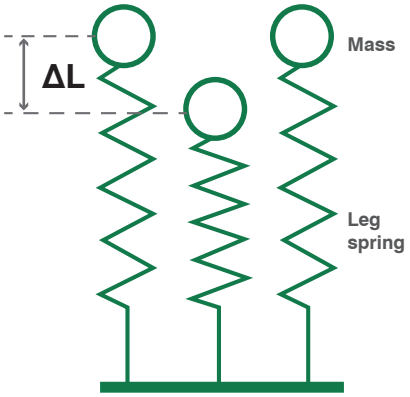


Immagine 1 - *Modello lineare molla-massa. Rappresenta il comportamento meccanico del sistema muscolo-scheletrico integrato durante la fase di contatto al suolo. La massa è equivalente alla massa corporea e la molla agli arti inferiori. Il modello è mostrato all'inizio della fase di contatto al suolo (a sinistra), a metà della fase di contatto al suolo dove raggiunge il punto di massima compressione (al centro), e al termine della fase di contatto col suolo (a destra) (da Farley CT., et al., 1998, modificato).*

Quindi, la stiffness soprattutto degli arti inferiori, rappresenta la caratteristica più importante dell'interazione tra il sistema biologico e l'ambiente esterno (terreno) durante la fase di contatto al suolo in tutte le forme di locomozione antigravitarie (McMahon TA & Greene PR., 1979). Recenti studi hanno dimostrato che il comportamento degli arti inferiori durante il tempo di contatto si modifica in funzione delle diverse superfici di contatto (Ferris DP and Farley CT, 1997; Ferris DP et al., 1998, Katkat D. et al., 2009).

Pertanto, se le prestazioni sportive avvengono su superfici morbide la stiffness degli arti inferiori si riduce e la prestazione di conseguenza peggiora. Così, l'interesse della letteratura scientifica internazionale sul miglioramento della prestazione, che da sempre è stato indirizzato verso l'ottimizzazione del sistema muscolo-scheletrico, da qualche tempo comincia a considerare gli aspetti legati alla dissipazione e al riuso dell'energia meccanica dell'impatto al suolo affrontando lo studio delle calzature sportive e soprattutto delle superfici di gioco. Parecchi studi, in tal senso, si sono interessati all'influenza che la stiffness delle superfici di gioco ha su eventi singoli come l'atterraggio dopo salto verticale o salto verso il basso (Drop Jump) (Gollhofer A., 1987; McNitt-Gray JL., et al., 1993, 1994; Belli A. and Bosco C., 1992; Sanders RH. and Allen JB, 1992, 1993). In questo tipo di prestazioni è stata osservata una maggiore stiffness degli arti inferiori quando i soggetti atterravano su una superficie compatibile rispetto a superfici estremamente rigide diminuendo così l'assorbimento di energia

da parte del sistema muscolo-scheletrico e aumentando l'assorbimento di energia dalla superficie. Anche per quanto riguarda la corsa, è stato osservato che l'uomo può correre più velocemente su superfici compatibili che su superfici estremamente dure come il cemento (McMahon TA & Greene PR., 1979).

Analisi della meccanica degli urti

In considerazione della capacità dell'essere umano di adottare differenti strategie neuromuscolari in funzione della diverse caratteristiche del terreno, nello studio delle caratteristiche meccaniche di elasticità e di attrito delle superfici si utilizzano dei gravi. Questi, di massa nota, lasciati cadere da una data altezza, acquisiscono una energia cinetica che in parte viene dissipata durante l'impatto e la frazione residua ne caratterizza il rimbalzo successivo. La frazione residua di energia cinetica determina il grado di stiffness della superficie. In letteratura (Ferris et al. 1997, Kerdok AM et al. 2002), questo tipo di misurazione viene effettuato utilizzando piattaforme di forza poste sotto la superficie in grado di misurare sia la forza di reazione al terreno Fy e di conseguenza la deformazione **Δ**/ che subisce la superficie determinandone la stiffness k della superficie applicando la formula:

$$k_y = F_{y\,peak} / \Delta /$$

Influenza delle proprietà delle superfici sulla prevenzione degli infortuni

Oltre alla prestazione, le caratteristiche di compliance delle superfici di gioco possono risultare determinanti nella incidenza degli infortuni. Difatti, durante movimenti ad alto impatto come correre, atterrare da un salto, ecc., l'abilità delle strutture cartilaginee di assorbire impatti nel tempo decresce al crescere dell'intensità degli impatti aumentando il rischio di traumi non solo alla cartilagine ma anche all'osso subcondrale (Jhonson et al., 1998; Meyer et al., 2009; Yeow et al. 2009). Ultimamente molti autori hanno concentrato i loro studi sugli infortuni derivanti dai manti sintetici nei campi di calcio (Taylor SA et al. 2012; Drakos MC, et al. 2013). Pochi studi hanno riguardato le superfici indoor. Tra questi, Pasanen (Pasanen K, et al., 2008) ha riportato un maggiore rischio su superfici artificiali indoor rispetto alle superfici in legno (parquet) per una maggior forza di attrito registrata tra le prime e le scarpe da gioco.

Un altro metodo per misurare la stiffness della superficie e/o il grado di assorbimento dell'impatto, quando non è possibile utilizzare le piattaforme di forza soprattutto su superfici già impiantate, è attraverso l'uso di accelerometri monoassiali posizionati sul grave che vengono analizzate le proprietà dinamiche delle superfici all'impatto (Shorten RS, www.isss-sportsurfacescience.org). Oltre alla capacità di assorbimento delle forze di impatto, un'altra proprietà delle superfici che viene analizzata è quella legata all'attrito volvente e radente. Per lo studio della prima proprietà il parametro utilizzato è la distanza percorsa dal rotolamento di una sfera di massa nota lasciata cadere da una altezza e con un'inclinazione nota (Kolitzus HJ, www.isss-sportsurfacescience.org). Per lo studio della seconda proprietà viene utilizzato normalmente il British Pendulum, un sistema in grado di rilevare le forze di attrito radente esercitate dalle superfici artificiali (Kolitzus HJ, 2007).

2. Fasi della ricerca

Disegno sperimentale

Alla luce dell'analisi della letteratura scientifica e come descritto in precedenza, l'obiettivo di questo studio sperimentale è stato quello di comparare le proprietà meccaniche della superficie in PFU dell'impianto NPM (Medolla - MO) con altre superfici di impianti sportivi resi disponibili per questa ricerca (PSM, PUTV), sia attraverso l'analisi di alcune prove fisiche a cui sono state sottoposte le superfici di gioco (cadute di gravi e restituzione elastica, valutazione di attrito radente e volvente) sia attraverso la valutazione di alcune prestazioni motorie umane condotte su queste superfici.
Lo studio ha previsto diverse fasi, che possono essere così sintetizzate:

- studio preliminare *"Analisi di alcune risposte fisico-meccaniche dei materiali contenente gomma da Pneumatico Fuori Uso effettuate in laboratorio"* condotto su alcuni campioni di pavimentazione in PFU, forniti dalla Ecopneus, svolto presso il Laboratorio di Ricerca Scientifica *Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco"*di Roma "Tor Vergata";
- studio preliminare sulla prestazione umana, per definire i test da svolgere presso il NPM e preparare/calibrare il setting sperimentale da predisporre poi in situ, svolto presso il Laboratorio diRicerca Scientifica *Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco"* di Roma "Tor Vergata";
- studio "Analisi comparata di parametri cinematici, dinamici, fisiologici e posturali-funzionali, in atleti dilettanti, registrati su diverse superfici di gioco" condotto in Medolla (MO) i giorni 20 e 21novembre 2013, dallo ore 9.00 alle ore 13.00;
- studio integrativo "Analisi di alcune risposte fisiche 2" svolto ancora presso il Laboratorio di Ricerca Scientifica Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco" di Roma "Tor Vergata", vista la parziale indisponibilità, non prevista, della PSM di Medolla.

Protocollo di Studio

Nel corso delle sessioni di studio effettuate a Roma e a Medolla (MO) sono state registrate varie misure, di tipo:

cinematico e dinamico:

- riprese ad alta velocità *(HS)* ed uso di piattaforme di forza per lo studio delle risposte meccaniche delle pavimentazioni oggetto di ricerca a cadute o spostamento di gravi: restituzione elastica, attrito radente e volvente;

Immagine 2 - *Allestimento set sperimentale PalaMedolla (NPM)*

- misura delle accelerazioni umane in task di salto (forza reattivo - elastica);
- misure di velocità umane in diversi task motori di locomozione (sprint, shuttle sprint, change of direction - C.O.D., tramite cronometria automatica (sistema con fotocellule);

fisiologico:

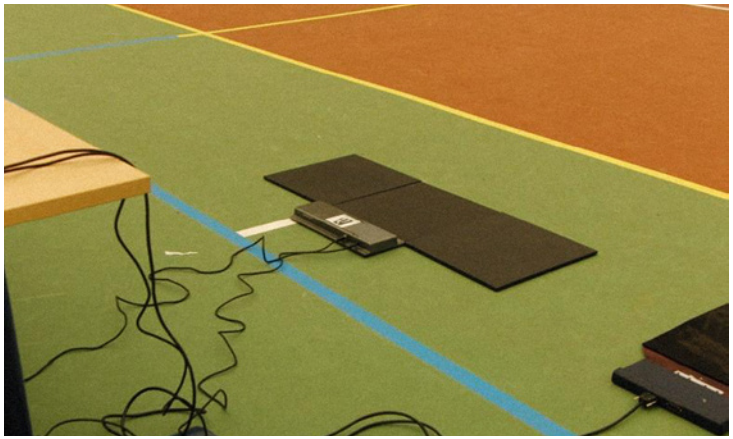
- test di endurance a velocità costante e studio dell'impegno cardiaco degli atleti impegnati tramite cardiofrequenziometria;

baropodometrico dinamico:

- misure di pressione esercitate dal piede sulle superfici in studio.

Le prove sono state effettuate presso il Pala Medolla in località Medolla (MO) e presso la palestra comunale di Medolla, nei giorni 20 - 21 novembre 2013, dalle ore 9.00 alle ore 13.00. Una parte di sperimentazione (analisi preliminare fisica delle superfici, con utilizzo di gravi e masse inerziali ed analisi preliminare sulla prestazione umana) è stata riprodotta presso il Laboratorio di Ricerca Scientifica *Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco"* di Roma "Tor Vergata".

Una serie di prove previste nel protocollo sperimentale concordato, sono state annullate il giorno 21 novembre per l'improvvisa indisponibilità della palestra comunale di Medolla.



Strumentazione e Software

Per lo studio sono stati utilizzati i seguenti strumenti e software di analisi.

Analisi Cinematica
Videocamere Casio Exilim FX-H20 e Casio Exilim ZR100 (con campionamento variabile fra 1000-480-420-240-210 fps). Software Kinovea ver. 08.2.

Analisi della forza esplosiva degli arti inferiori
Sensorize FreePower™ (Picerno et Al., 2011).

Analisi parametri fisiologici
Cardiofrequenzimetri Suunto Memory Belts®, Suunto Oy, Vantaa, Finland.

Analisi Baro-Podometrica dinamica Pedane
Physical Software; software Milletrix.

Immagine 3 - *Strumentazione baropodometrica per l'analisi delle pressioni esercitate sulla superficie in studio.*

Analisi statistiche

I dati raccolti sono stati analizzati con il software IBM SPSS 20.0 e presentati come Media e Deviazione Standard, laddove opportuno.
Le differenze nelle risposte fisiche e fisiologiche sono state valutate tramite t-test per campioni appaiati ed Anova ad una via. La significatività statistica è stata accettata con $p<0.05$.
Per stimare la grandezza dell'effetto, è stato calcolato il *d* di Cohen (Cohen *d*, Effect Size).

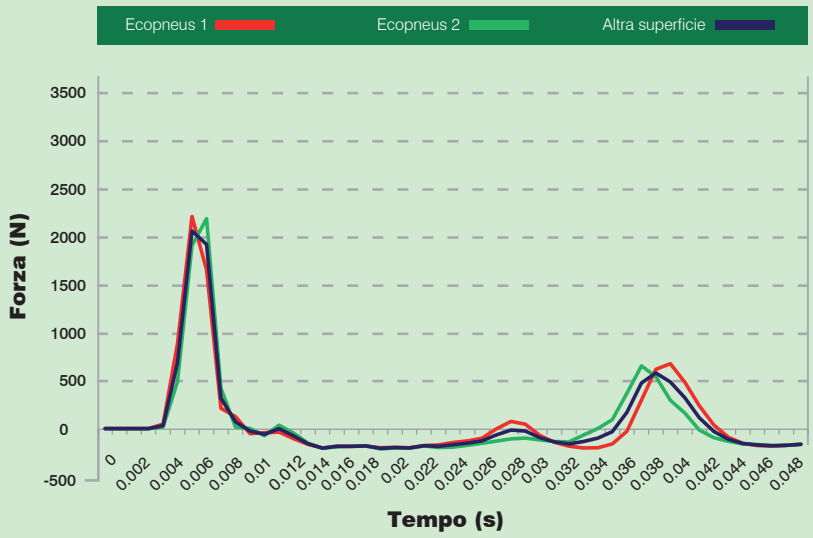
Immagine 4 - *Quattro jump Kistler 9290B D e pavimentazioni sperimentali*

3. Studi preliminari

Analisi di alcune risposte fisico-meccaniche dei materiali contenente gomma da Pneumatico Fuori Uso effettuate in laboratorio

Per valutare la forza d'impatto al suolo, abbiamo misurato su una pedana dinamometrica (Quattrojump, Kistler, modello 9290B D), pavimentata con le diverse superfici oggetto di studio comparativo, il comportamento di un grave di 1 Kg, in caduta da un'altezza di 0.80 m. Le superfici analizzate sono state due campioni di pavimentazione sintetica con materiali derivanti da Pneumatici Fuori Uso (vedi immagine 4) ed una terza superficie (campione di pavimentazione sintetica della palestra Laboratorio di Ricerca Scientifica *Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco"* di Roma "Tor Vergata"). I risultati ottenuti sono simili su tutte e tre le superfici (P = n.s.), vedi figura 1.

Figura 1 - Forza applicata al suolo durante l'impatto del grave su differenti superfici e primo rimbalzo



Analisi della prestazione umana per la definizione del setting sperimentale

Prima dello svolgimento della ricerca, è stato effettuato uno studio preliminare, per definire i test da svolgere e preparare il setting per la ricerca successiva. Lo studio preparatorio è stato svolto su 10 soggetti (5 maschi, 5 femmine), studenti di Scienze Motorie, dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", in buone condizioni fisiche, informati sulle prove da svolgere, i quali hanno dato il loro consenso informato allo svolgimento delle stesse. Prima dei test i soggetti hanno effettuato un riscaldamento specifico in base alle prove da svolgere.

Tabella 1 - Dati antropometrici del campione

	N	Anni	Peso (Kg)	Altezza (cm)	BMI
Maschi	5	20.5 ± 2.0	75 ± 3.5	175 ± 0.3	20.2
Femmine	5	20.5± 1.5	64 ± 2.5	160 ± 0.5	22.3

Le prove preliminari sono state svolte presso il Laboratorio di Ricerca Scientifica *Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco"* di Roma "Tor Vergata".

Scelta dei test per valutare i parametri fisiologici

Corsa a navetta

Numerose palestre indoor hanno una dimensione che contiene a stento un campo di pallavolo e la maggior parte delle attività svolte prevedono numerosi cambi di senso, perciò abbiamo scelto di svolgere una corsa a navetta sulla distanza di 15 metri. La corsa è stata svolta alla velocità sub-massimale di 8 km/h, che è stata scelta in base al costo energetico di questa tipologia di corsa (Colli et. Al 2007; Buglione and di Prampero 2013). L'esercizio è stato svolto per cinque minuti, durante i quali è stata misurata e valutata la frequenza cardiaca, per mezzo di cardiofrequenzimetri a fascia toracica. (Suunto Memory Belts, Suunto Oy, Vantaa, Finland) (figura 1).

Test di Rapidità ed Agilità

Per misurare le accelerazioni (negative e positive) sono stati svolti degli sprint su 20 m in linea e 10+10m a navetta. Invece per valutare l'agilità e cambi di direzione è stato proposto il "COD Test" secondo il protocollo proposto da Ruscello et al. (2013). Il test ha previsto lo svolgimento di prove massimali di sprint delle prove su di un percorso di 30 metri a slalom (figura 2).

Forza degli arti inferiori e stiffness

Per valutare la forza degli arti inferiori è stato eseguito il test CMJ (Counter Movement Jump, nella modalità a braccia libere)(figura 2) ed il test di Stiffness (Bosco 1982)(figura 3).

Risultati studio preliminare

Figura 2 - Frequenza cardiaca (bpm) durante una corsa a navetta sub-massimale alla velocità di 8 km/h sulla distanza di 15 metri

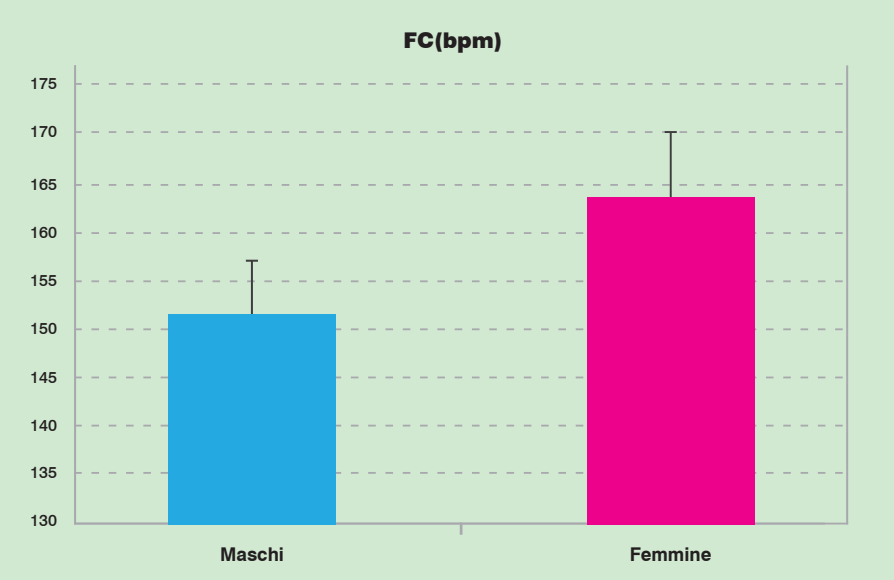


Figura 3 - CMJ altezza verticale, espressa in cm (M±DS)

Figura 4 - Stiffness test, valori espressi in W/kg (M±DS)

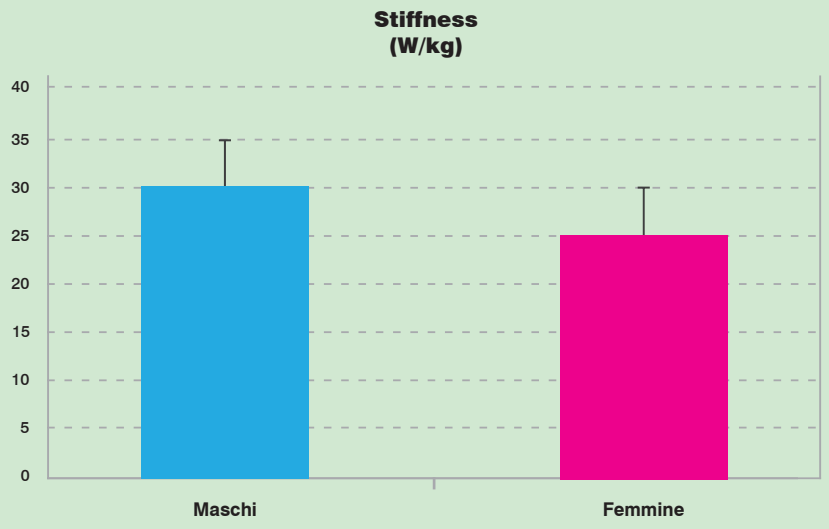


Tabella 2 - Dati di corsa in accelerazione massimale su 15 metri in linea; 10 metri a navetta; 6 volte 5m con 6 cambi di direzione

Sprint test e COD	Femmine	Maschi
15 m lineari (s)	2.70±0.10	2.98±0.09
10+10 m shuttle (s)	4.85 ±0.19	5.15±0.21
COD 6x5 m shuttle (s)	10.25±0.21	11.98±0.24

Conclusioni del lavoro preliminare sulla prestazione umana

Il lavoro preliminare ha avuto l'obiettivo di definire i test da svolgere e preparare il setting per la ricerca successiva. I risultati dei test preliminari ci hanno confermato la fattibilità delle prove su superfici indoor e l'attendibilità dei risultati per valutare le risposte fisiologiche e neuromuscolari su superfici diverse.

4. Studio “Analisi comparata di parametri cinematici, dinamici, fisiologici e posturali-funzionali, in atleti dilettanti, registrati su diverse superfici di gioco”

In questa fase dello studio, le prove sono state effettuate presso il PalaMedolla in località Medolla (MO) e presso la palestra comunale di Medolla, nei giorni 20 - 21 novembre 2013, dallo ore 9.00 alle ore 13.00.
Gli ambienti, indoor, erano riscaldati e ventilati, con temperatura interna di 16° e 19° rispettivamente. Il setting sperimentale, messo a punto a Roma, presso il Laboratorio di Ricerca Scientifica *Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco"* di Roma "Tor Vergata" è stato posto in opera sia all'interno del PalaMedolla (NPM) che nella palestra scolastica (PSM).
Obiettivo di questa fase era comparare le prestazioni sportive del campione di studio in diverse condizioni ambientali, dove la superficie di "gioco" è stata posta come principale variabile indipendente ed è stata indagata per gli effetti sulla prestazione umana (posta come variabile dipendente) verificata in diverse espressioni, attraverso opportuni test da campo, volti a misurare:

- rapidità (testi di velocità);
- agilità (COD);
- forza reattivo - elastica (Stiffness muscolare);
- endurance (test a navetta a velocità costante) ed analisi dell'impegno cardiaco;
- equilibrio.

Sono state inoltre eseguite le prove fisico-meccaniche prima citate, per valutare le risposte del materiale derivante da Pneumatici Fuori Uso posto in opera all'interno del PalaMedolla (NPM) e, parzialmente, presso la palestra scolastica (PSM).

Materiali e Metodi

Strumentazione e Software

Dettagliate precedentemente.

Campione

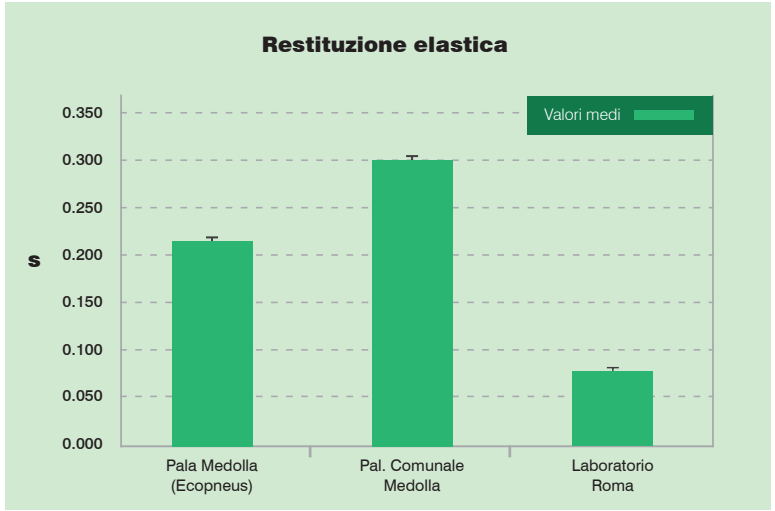
È stata analizzata la prestazione di otto atleti dilettanti (n=8; n_{maschi}=4;$n_{femmine}$=4). Alcuni dati bio-antropometrici sono riportati nella tabella n. 3. Gli atleti erano in ottime condizioni fisiche ed informati preventivamente delle procedure di studio condotte. Prima dei test gli atleti hanno eseguito una normale procedura di riscaldamento.

Tabella 3 - Dati antropometrici del campione

	N	Anni	Peso (Kg)	Altezza (cm)	BMI
Maschi	4	26.5 ± 6.0	61 ± 10.5	164 ± 09	22.7
Femmine	4	26.5 ± 5.3	84 ± 6.5	180 ± 06	25.3

5. Comparazione di alcune proprietà fisiche delle pavimentazioni oggetto di studio

Figura 5 - Caduta di un grave (1Kg; H=0,74 m) - tempo medio di volo al primo rimbalzo (M±DS)

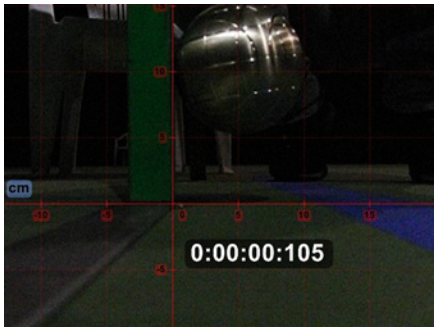


Restituzione elastica

Per valutare il coefficiente di restituzione elastica delle tre superfici esaminate, è stato studiato il comportamento di un grave di 1 Kg cadente da un'altezza standard fissata a 0.74 m (immagine 5). Si è registrato quindi il tempo di volo del primo rimbalzo a terra dopo il contatto del grave in caduta. Le tre superfici sono risultate significativamente differenti al test ANOVA ($F_{2,24}$=36132.764; p<0.0000001; Figura 5).

La superficie realizzata con gomma riciclata da Pneumatico Fuori Uso si posiziona in via intermedia fra una molto "dura" (palestra comunale di Medolla) con alto coefficiente di rimbalzo ed una molto "morbida" (laboratorio "C. Bosco" - Roma).

Immagine 5 - *Setting strumentale per la valutare restituzione elastica*



Attrito volvente (rotolamento)

Per valutare il coefficiente di attrito volvente (rotolamento) delle due superfici esaminate, è stato videoregistrato ad alta velocità (1000 fps) il comportamento di un grave di 1 Kg che rotolasse a terra, dopo una discesa su piano inclinato a 28° della lunghezza di un metro (immagine 6). Sono stati quindi misurati il tempo necessario per percorrere un metro sulla pavimentazione, la velocità e l'accelerazione media ottenute. Le due superfici sono risultate significativamente differenti al test t per campioni appaiati.

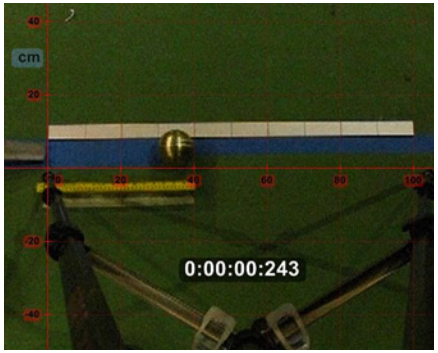


Immagine 6 - *Setting strumentale per la valutare dell'attrito volvente*

Figura 6 - Tempo medio di rotolamento di un grave da 1 kg da piano inclinato a 28° (M±DS)

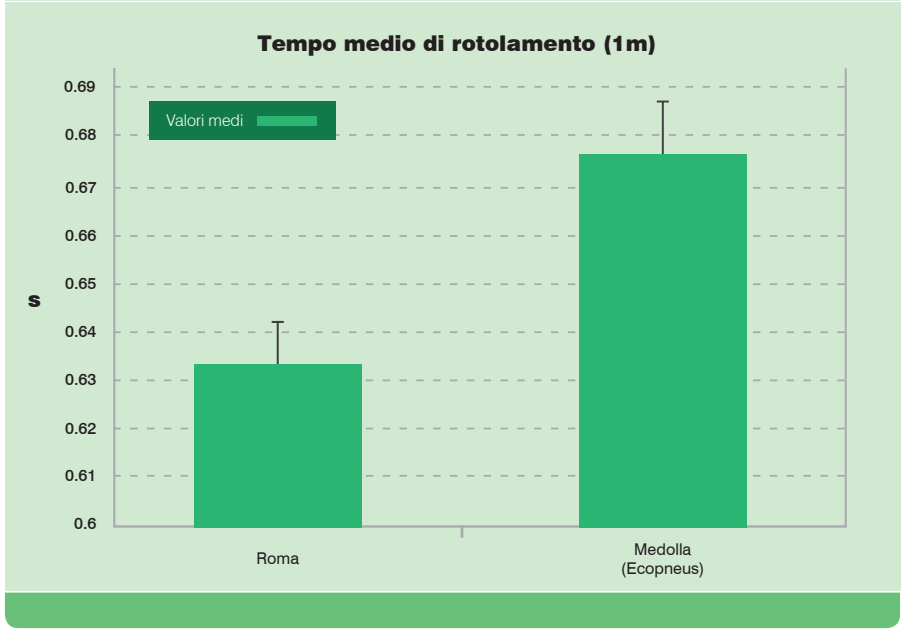


Figura 7 - Velocità media di rotolamento di un grave da 1 kg da piano inclinato a 28° (M±DS)

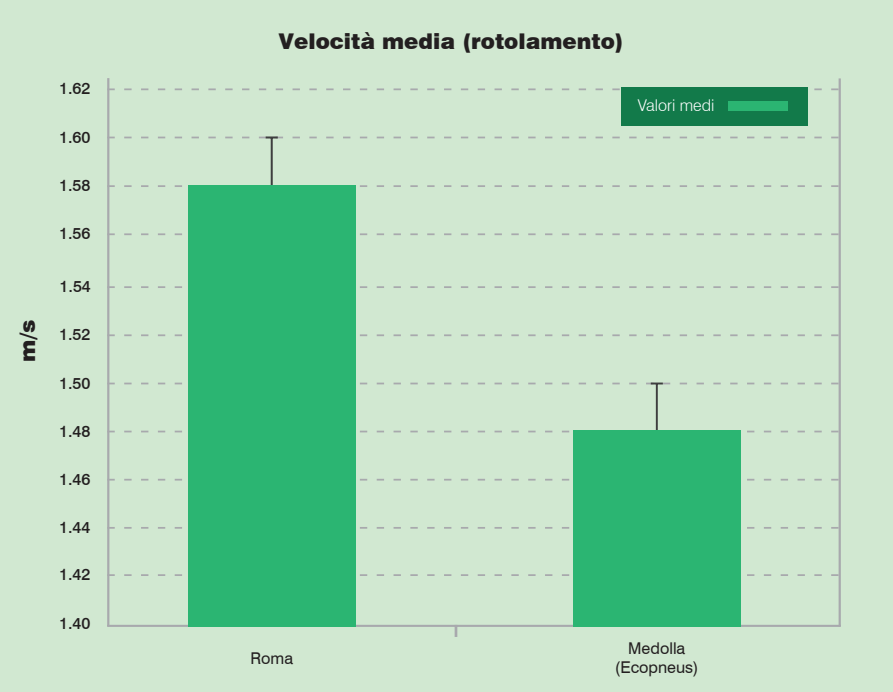
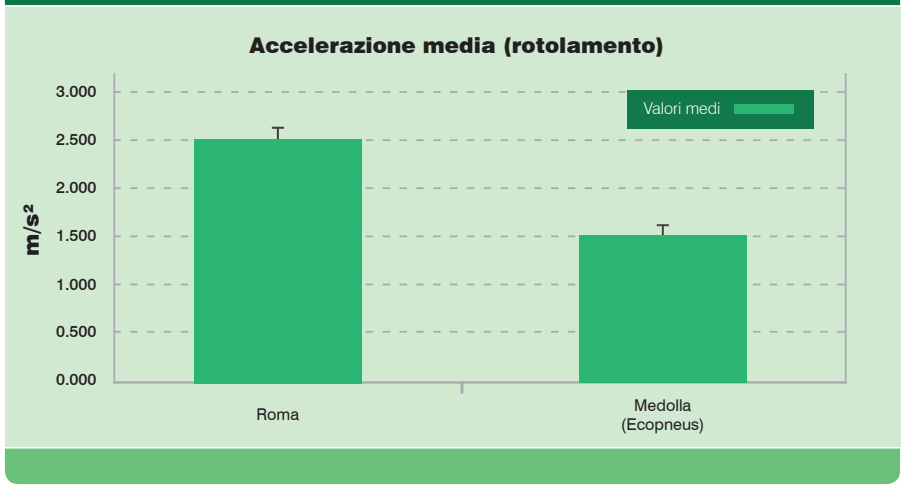


Figura 8 - Accelerazione media di rotolamento di un grave da 1 kg da piano inclinato a 28°(M±DS)



(tempo: t= 65535.000; df=8; p< 0.00001; velocità t= -191873684.655; df=8; p< 0.00001; accelerazione t= -191873684.655; df=8; p< 0.00001. Figura 6 - 8).

La superficie con gomma riciclata si posiziona come mediamente più “frenante” rispetto alla superficie di una palestra standard (palestra laboratorio “C. Bosco”- Roma).

Attrito radente a seguito di urto standard

Per valutare il coefficiente di attrito radente delle due superfici studiate (PalaMedolla e Palestra di Roma Tor Vergata "C. Bosco"), si è analizzato lo spostamento risultante dall'urto di un grave di 1 Kg, rotolante su piano inclinato a 28° e di una massa inerziale di 0.700 Kg a contatto con le superfici di studio (immagine 7), e costruita con la parte aderente al terreno in materiale plastico utilizzato per la costruzione di suole da scarpe da ginnastica. Per tale studio, videoregistrato ad alta velocità, è stato utilizzato anche un accelerometro triassiale (Freesense Sensorize). Sono stati quindi misurati il tempo necessario alla massa inerziale per giungere al punto finale dopo il primo urto, lo spostamento dopo il primo urto e derivata la accelerazione media ottenuta. Le due superfici sono risultate significativamente differenti al test t per campioni appaiati *(tempo: t= -27.908; df=5; p<0.000001; spostamento: t= -5.27; df=5; p<0.003; accelerazione media: t= 11.049; df=5; p<0.000001).*
Vedi figura 9 - 11.

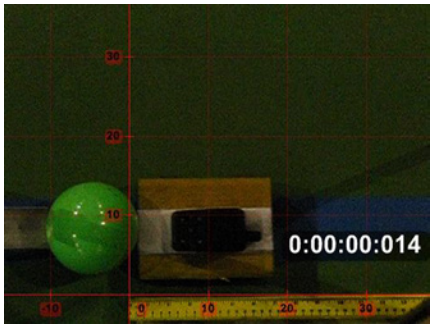


Immagine 7 - *Setting strumentale per la valutare dell'attrito radente*

Figura 9 - Tempo di spostamento della massa inerziale all'urto del grave da 1 kg. (M±DS)

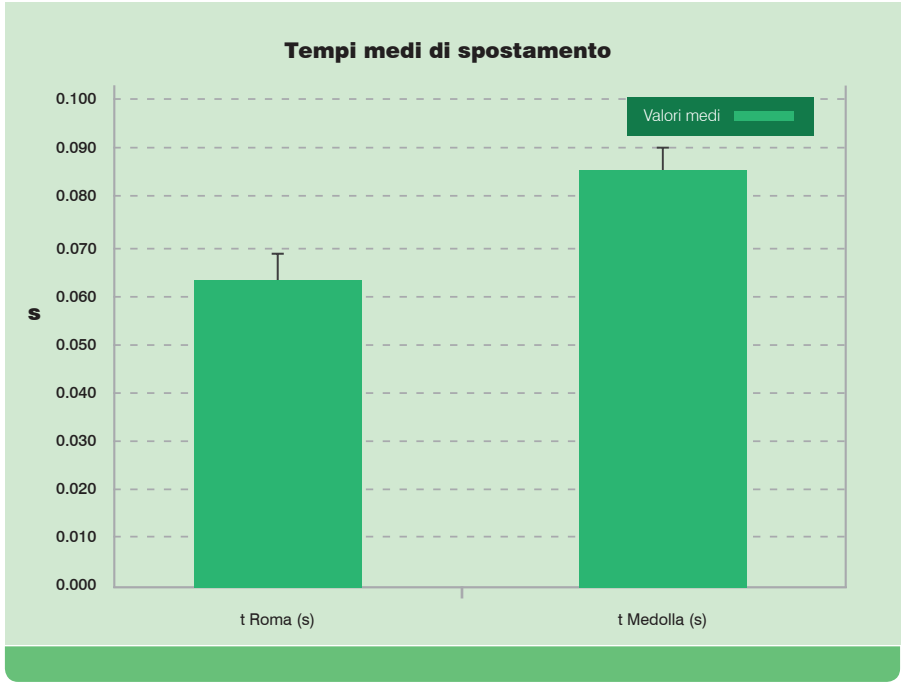


Figura 10 - Spostamento della massa inerziale all'urto del grave da 1 kg (M±DS)

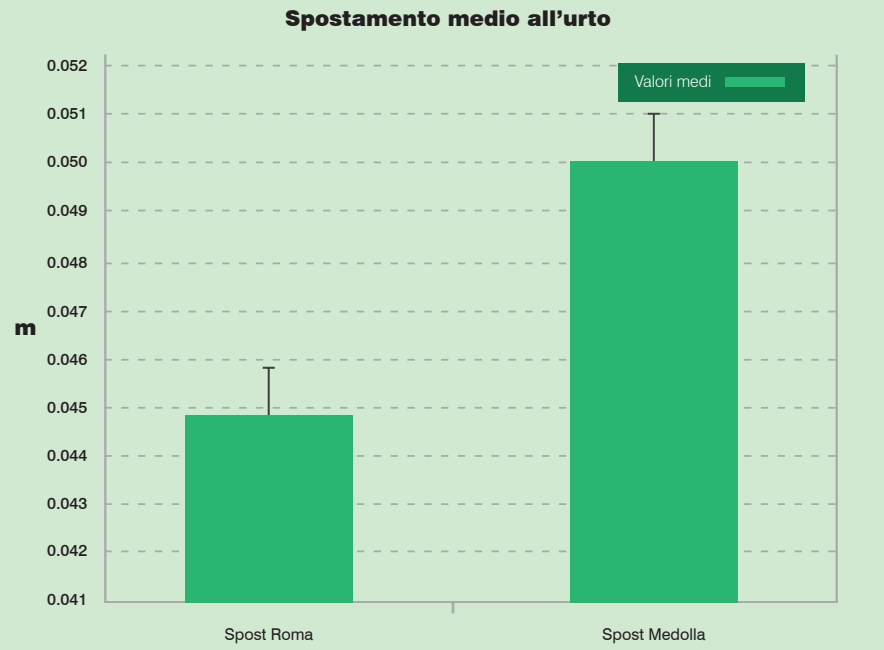
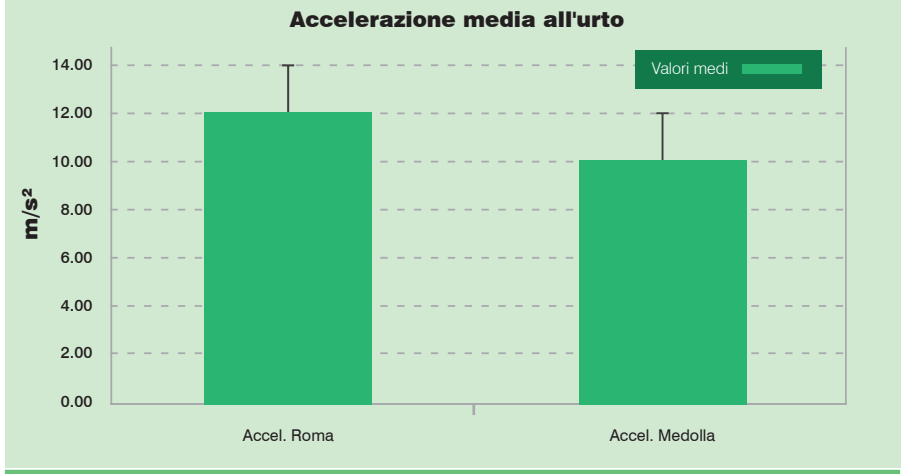


Figura 11 - Accelerazione della massa inerziale all'urto del grave da 1 kg (M±DS)



In questo senso la superficie di Medolla (NPM) risulta ancora più "frenante" rispetto ad una superficie standard (PUTV), con valori di circa il 40% inferiori nei valori di accelerazione media.

6. Comparazione di alcune performance fisiche e fisiologiche di un gruppo di atleti dilettanti, impegnati sulle pavimentazioni oggetto di studio

Analisi Cinematica, Dinamica e Fisiologica

In questa fase dello studio, gli atleti partecipanti sono stati sottoposti ad una batteria di test di valutazione che ha indagato diverse capacità neuro-muscolari e metaboliche. Le risultanze poste in comparazione come variabili dipendenti in relazione alla varabile indipendente di studio (tipologia della superficie).
Le capacità motorie indagate sono state la rapidità generale, l'agilità, la forza reattivo-elastica (stiffness), l'endurance ed il comportamento della frequenza cardiaca, l'equilibrio statico e dinamico.

Valutazioni condotte

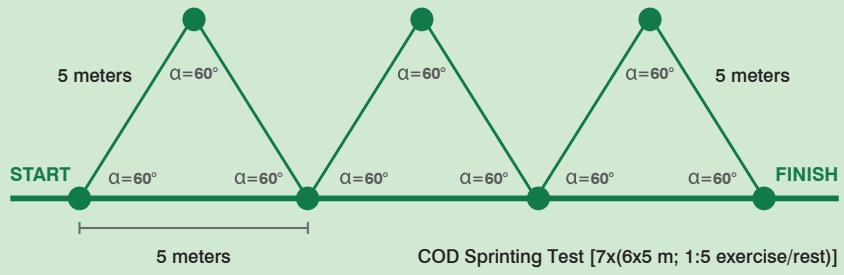
Test di Rapidità

Accelerazioni lineari su 15 metri (sprint); accelerazioni a navetta su 10 +10 metri (shuttle sprinting). Cronometraggio automatico con partenza libera del soggetto.

Test di Agilità

Per valutare la componente di agilità degli atleti, è stato proposto un test validato, denominato "COD Test", secondo il protocollo dettagliato in figura 12. Cronometraggio automatico con partenza libera del soggetto.

Figura 12 - COD Test: valutazione della componente coordinativa e neuromuscolare della Agilità



Tale test è stato già validato scientificamente ed anche recentemente è stata prodotta una pubblicazione internazionale da parte dei redattori del presente report, che indagava le peculiarità fisiologiche di tale modalità di sprint (Ruscello et al., 2013).

Test di Endurance a velocità costante e monitoraggio cardiaco

I partecipanti hanno eseguito un test submassimale di corsa continua. La corsa è stata svolta alla velocità di 8 km/h, che è stata scelta in base al costo energetico di questa tipologia di corsa (Colli et. Al 2007; Buglione and di Prampero 2013). L'esercizio è stato svolto per cinque minuti, durante i quali è stata misurata e valutata la frequenza cardiaca, per mezzo di cardiofrequenzimetri a fascia toracica (Suunto Memory Belts, Suunto Oy, Vantaa, Finland).

Test di Forza Reattivo Elastica

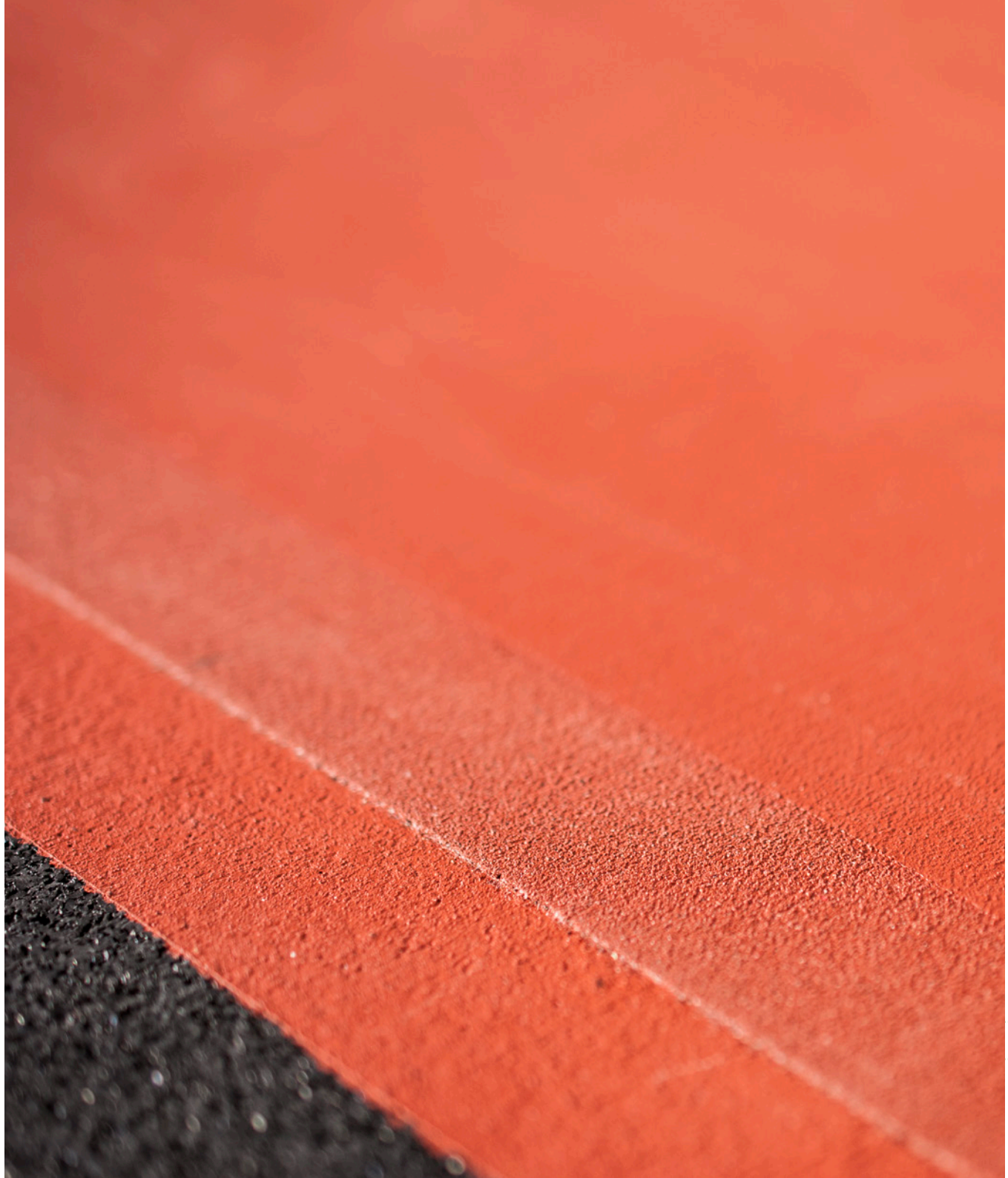
È stata effettuata una analisi dei dati raccolti riguardanti il test di Stiffness (15” di salti continui) e del CMJ (braccia libere), applicando sul corpo dell’atleta il dispositivo FreePower Sensorize™.

Baropodometria elettronica dinamica

E’ stata eseguito l’esame baropodometrico elettronico (BPE) in dinamica, indagine strumentale che ha consentito di misurare la percentuale di carico esercitata dal piede, durante l’esecuzione di un Drop Jump partendo da un’altezza di 30 cm, sulla pedana baropodometrica di analisi *ultra sottile* (spessore 1 mm, quattro sensori per cm^2).

Tra le varie rilevazioni e misurazioni raccolte durante l’esame, quelle prese in considerazione in questo contesto sono state:

- pressione massima (g/cm^2);
- pressione media (g/cm^2);
- tempo di contatto (s).



7. Risultati e discussione

Tabella 4 - *Sprint test 15 m lineare (s)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)
Soggetto 1	2.85	2.78
Soggetto 2	2.64	2.75
Soggetto 3	3.00	2.87
Soggetto 4	2.94	3.09
Soggetto 5	2.61	2.67
Soggetto 6	2.74	2.79
Soggetto 7	2.77	2.80
Soggetto 8	3.11	3.40
Media	2.83	2.89
Dev.St	±0.18	±0.24

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.34, df 7; P=0.22; Cohen's d= -0.28

Tabella 5 - *Sprint test 10+10 m shuttle (s)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)
Soggetto 1	4.84	4.82
Soggetto 2	4.69	5.00
Soggetto 3	5.27	5.20
Soggetto 4	5.09	5.50
Soggetto 5	4.59	4.79
Soggetto 6	4.81	5.04
Soggetto 7	4.64	4.88
Soggetto 8	5.49	5.58
Media	4.93	5.10
Dev.St	±0.32	±0.30

Test t: due campioni accoppiati per medie= -3.01, df 7; P=0.02; Cohen's d= -0.55

Tabella 6 - *COD 6x5 m shuttle(s)*

Sprint test	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)
Soggetto 1	10.02	10.05
Soggetto 2	09.97	10.31
Soggetto 3	10.73	10.79
Soggetto 4	11.64	11.33
Soggetto 5	09.80	10.02
Soggetto 6	10.35	10.79
Soggetto 7	10.04	10.11
Soggetto 8	11.84	11.96
Media	10.55	10.67
Dev.St	±0.79	±0.69

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.51, df 7; P=0.17; Cohen's d= -0.16

Tabella 7 - *Endurance test - Frequenza Cardiaca (bpm)*

Sprint test	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)
Soggetto 1	139	141
Soggetto 2	175	174
Soggetto 3	126	167
Soggetto 4	147	144
Soggetto 5	149	146
Soggetto 6	161	140
Soggetto 7	163	167
Soggetto 8	181	176
Media	155	157
Dev.St	±18	±15

Test t: due campioni accoppiati per medie= -0.27, df 7; P=0.79; Cohen's d= -0.12

Test di Forza Reattivo Elastica

Tabella 8 - *Altezza massima, Stiffness test*

	Altezza massima (cm)		
	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	31	30	+1
Soggetto 2	26	29	-3
Soggetto 3	25	30	-5
Soggetto 4	13	16	-3
Soggetto 5	34	35	-1
Soggetto 6	26	22	+4
Soggetto 7	13	16	-3
Soggetto 8	21	23	-2
Media	24	25	
Dev.St	±8	±7	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.50, df 7; P=0.18; Cohen's d= -0.13

Tabella 9 - *Elevazione massima - Test di Bosco, Stiffness test*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	25	25	0
Soggetto 2	20	23	-3
Soggetto 3	20	25	-5
Soggetto 4	9	11	-2
Soggetto 5	28	29	-1
Soggetto 6	20	16	-04
Soggetto 7	9	11	-2
Soggetto 8	16	18	-2
Media	18	20	
Dev.St	±7	±7	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.49, df 7; P=0.18; Cohen's d= -0.29

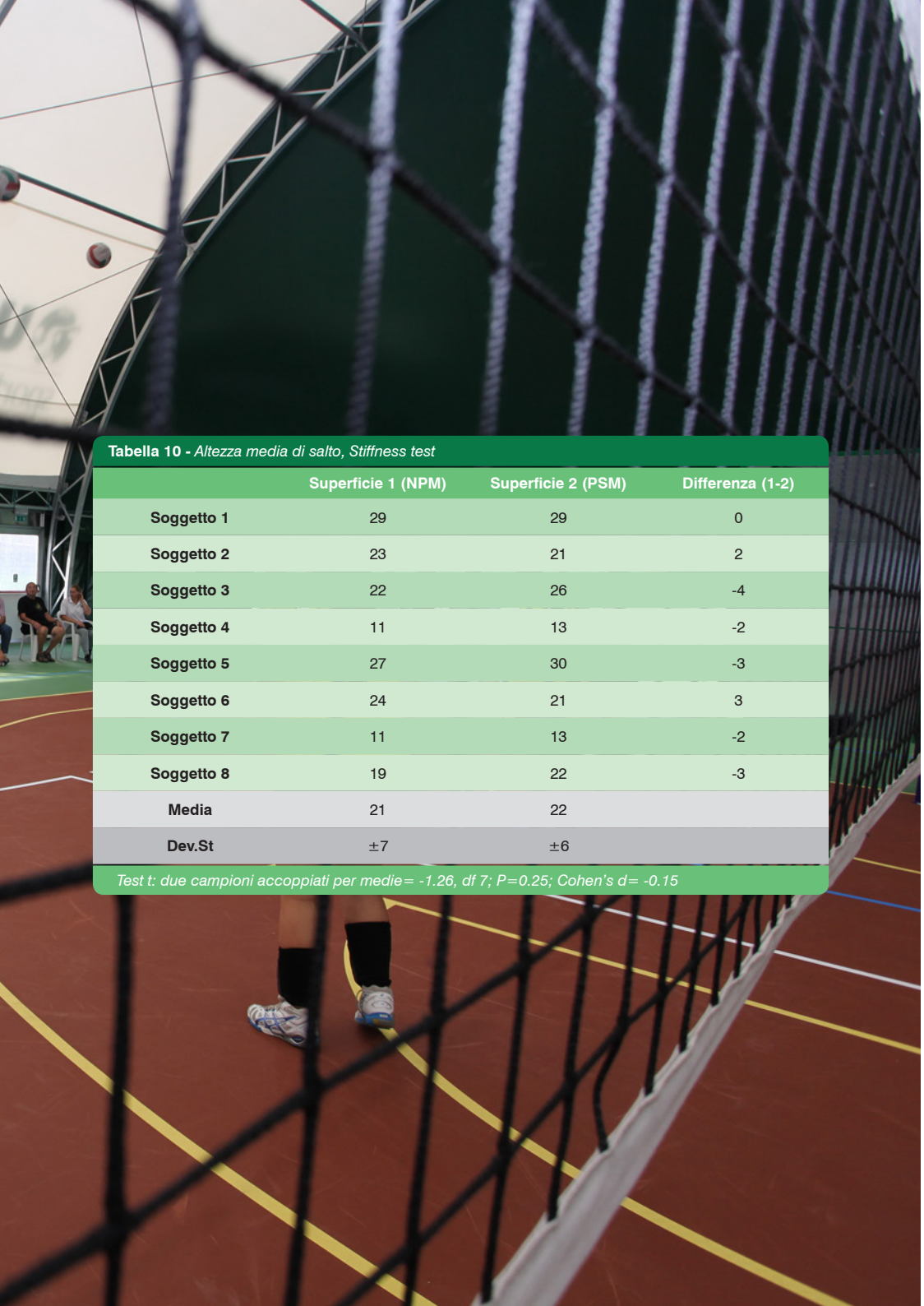


Tabella 10 - *Altezza media di salto, Stiffness test*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	29	29	0
Soggetto 2	23	21	2
Soggetto 3	22	26	-4
Soggetto 4	11	13	-2
Soggetto 5	27	30	-3
Soggetto 6	24	21	3
Soggetto 7	11	13	-2
Soggetto 8	19	22	-3
Media	21	22	
Dev.St	±7	±6	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.26, df 7; P=0.25; Cohen's d= -0.15

Tabella 11 - *Tempo di volo, Stiffness test*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	0.44	0.43	0.00
Soggetto 2	0.38	0.35	0.03
Soggetto 3	0.37	0.41	-0.05
Soggetto 4	0.24	0.27	-0.03
Soggetto 5	0.40	0.44	-0.04
Soggetto 6	0.38	0.35	0.03
Soggetto 7	0.24	0.27	-0.03
Soggetto 8	0.34	0.37	-0.03
Media	0.35	0.36	
Dev.St	±0.07	±0.07	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.30, df 7; P=0.24; Cohen's d= -0.1

Tabella 12 - *Elevazione media - Test di Bosco, Stiffness test*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	44	43	+1
Soggetto 2	38	35	+3
Soggetto 3	37	41	-5
Soggetto 4	24	27	-3
Soggetto 5	40	44	-4
Soggetto 6	38	35	+3
Soggetto 7	24	27	-3
Soggetto 8	34	37	-3
Media	35	36	
Dev.St	±7	±7	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.17, df 7; P=0.28; Cohen's d= -0.33

Tabella 13 - *Tempo di contatto, Stiffness test (s)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	0.21	0.20	0.01
Soggetto 2	0.19	0.17	0.02
Soggetto 3	0.17	0.19	-0.01
Soggetto 4	0.16	0.16	0.01
Soggetto 5	0.15	0.17	-0.02
Soggetto 6	0.18	0.16	0.02
Soggetto 7	0.16	0.16	0.01
Soggetto 8	0.20	0.19	0.01
Media	0.18	0.17	
Dev.St	±0.02	±0.02	

Test t: due campioni accoppiati per medie= 0.78, df 7; P=0.44; Cohen's d=0.50

Tabella 14 - *Potenza media, Stiffness test (W/Kg)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	32.06	33.08	-1.02
Soggetto 2	28.01	26.52	1.49
Soggetto 3	27.53	32.13	-4.60
Soggetto 4	14.82	17.89	-3.07
Soggetto 5	38.4	38.61	-0.21
Soggetto 6	28.27	26.56	1.71
Soggetto 7	14.82	17.89	-3.07
Soggetto 8	22.44	26.41	-3.97
Media	25.79	27.39	
Dev.St	±8.14	±7.21	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.85, df 7; P=0.11; Cohen's d= -0.21

Tabella 15 - *Potenza massima, Stiffness test (W/Kg)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	33.95	35.81	-1.86
Soggetto 2	31.08	36.63	-5.55
Soggetto 3	32.96	38.67	-5.71
Soggetto 4	19.02	22.26	-3.24
Soggetto 5	47.96	47.89	0.07
Soggetto 6	34.41	28.78	5.63
Soggetto 7	19.02	22.26	-3.24
Soggetto 8	25.65	28.99	-3.34
Media	30.51	32.66	
Dev.St	±9.45	±8.77	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.67, df 7; P=0.14; Cohen's d= -0.24

Tabella 16 - *Indice di reattività, Stiffness test*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	0.67	0.68	-0.01
Soggetto 2	0.67	0.67	0.00
Soggetto 3	0.68	0.69	-0.01
Soggetto 4	0.6	0.63	-0.03
Soggetto 5	0.69	0.72	-0.03
Soggetto 6	0.68	0.68	0.00
Soggetto 7	0.6	0.63	-0.03
Soggetto 8	0.63	0.66	-0.03
Media	0.65	0.67	
Dev.St	±0.04	±0.03	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -3.56, df 7; P=0.01; Cohen's d= -0.24

Tabella 17 - *Indice di stiffness, Stiffness test (kN/m/Kg)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	0.29	0.33	-0.04
Soggetto 2	0.39	0.46	-0.07
Soggetto 3	0.45	0.38	0.07
Soggetto 4	0.56	0.58	-0.02
Soggetto 5	0.6	0.44	0.16
Soggetto 6	0.41	0.5	-0.09
Soggetto 7	0.56	0.58	-0.02
Soggetto 8	0.36	0.38	-0.02
Media	0.45	0.46	
Dev.St	±0.11	±0.09	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -0.13, df 7; P=0.90; Cohen's d= -0.10

Tabella 18 - *Altezza massima CMJ (cm)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	40	39	1
Soggetto 2	40	42	-2
Soggetto 3	33	36	-3
Soggetto 4	39	38	1
Soggetto 5	35	38	-3
Soggetto 6	48	48	0
Soggetto 7	46	33	13
Soggetto 8	32	33	-1
Media	39	38	
Dev.St	±6	±5	

Test t: due campioni accoppiati per medie= 0.41, df 7; P=0.35; Cohen's d=0.18

Tabella 19 - *Elevazione massima di Bosco, CMJ (cm)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	32	31	1
Soggetto 2	32	35	-3
Soggetto 3	27	28	-1
Soggetto 4	32	34	-2
Soggetto 5	28	34	-6
Soggetto 6	37	38	-1
Soggetto 7	37	26	11
Soggetto 8	25	26	-1
Media	31	32	
Dev.St	±4	±4	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -0.14, df 7; P=0.89; Cohen's d= -0.25

Tabella 20 - *Tempo di volo, CMJ (s)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	0.51	0.51	0.00
Soggetto 2	0.51	0.54	-0.03
Soggetto 3	0.47	0.48	-0.01
Soggetto 4	0.51	0.53	-0.02
Soggetto 5	0.48	0.53	-0.06
Soggetto 6	0.55	0.56	-0.01
Soggetto 7	0.55	0.46	0.09
Soggetto 8	0.45	0.46	-0.01
Media	0.50	0.51	
Dev.St	±0.04	±0.04	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -0.38, df 7; P=0.75; Cohen's d= -0.25

Tabella 21 - *Velocità di picco, CMJ (m/s)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	2.42	2.44	-0.02
Soggetto 2	2.46	2.56	-0.10
Soggetto 3	2.28	2.3	-0.02
Soggetto 4	2.45	2.54	-0.09
Soggetto 5	2.25	2.38	-0.13
Soggetto 6	2.57	2.69	-0.12
Soggetto 7	2.65	2.33	0.32
Soggetto 8	2.15	2.18	-0.03
Media	2.40	2.43	
Dev.St	±0.17	±0.16	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -0.46, df 7; P=0.66; Cohen's d= -0.18

Tabella 22 - *Forza di picco, CMJ (N/Kg)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	17.58	24.11	-6.53
Soggetto 2	15.45	13.16	2.29
Soggetto 3	14.4	13.88	0.52
Soggetto 4	17.8	18.34	-0.54
Soggetto 5	15.88	13.09	2.79
Soggetto 6	24.21	22.79	1.42
Soggetto 7	24.23	31.38	-7.15
Soggetto 8	10.23	11.68	-1.45
Media	17.47	18.55	
Dev.St	±4.78	±6.98	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -0.80, df 7; P=0.45; Cohen's d= -0.18

Tabella 23 - *Potenza di picco, CMJ (W/Kg)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	30.38	32.96	-2.58
Soggetto 2	29.88	26.89	2.99
Soggetto 3	21.54	25.23	-3.69
Soggetto 4	29.02	33.33	-4.31
Soggetto 5	13.62	25.07	-11.45
Soggetto 6	29.03	36.25	-7.22
Soggetto 7	48.33	44.55	3.78
Soggetto 8	18.62	20.44	-1.82
Media	27.55	30.59	
Dev.St	±10.42	±7.71	

Test t: due campioni accoppiati per medie= -1.72, df 7; P=0.13; Cohen's d= -0.33

Tabella 24 - *Lavoro eccentrico, CMJ (J/Kg)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	-1.63	-1.44	-0.19
Soggetto 2	-2.01	-2.96	0.95
Soggetto 3	-3.35	-3.52	0.17
Soggetto 4	-1.92	-2.33	0.41
Soggetto 5	-6.35	-3.7	-2.65
Soggetto 6	-2.28	-2.31	0.03
Soggetto 7	-2.61	-2.7	0.09
Soggetto 8	-2.7	-3.41	0.71
Media	-2.86	-2.80	
Dev.St	±1.51	±0.76	

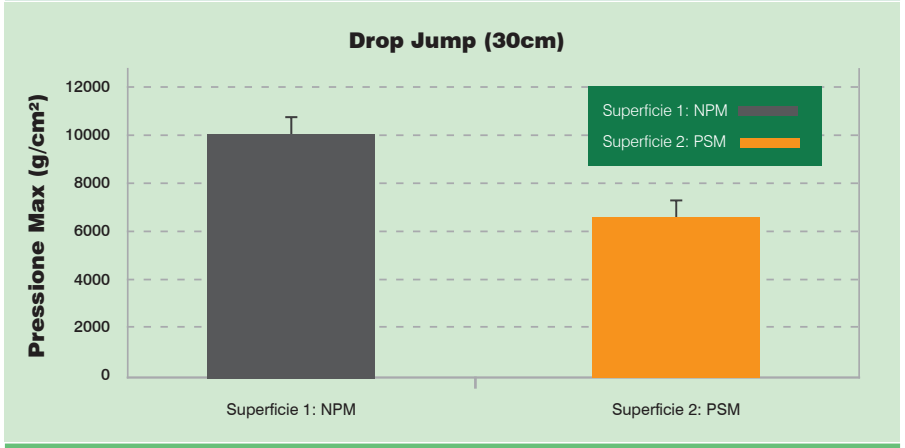
Test t: due campioni accoppiati per medie= -0.15, df 7; P=0.88; Cohen's d= -0.05

Tabella 25 - *Lavoro concentrico, CMJ (J/Kg)*

	Superficie 1 (NPM)	Superficie 2 (PSM)	Differenza (1-2)
Soggetto 1	5.58	5.31	0.27
Soggetto 2	5.91	7.11	-1.20
Soggetto 3	6.63	7.03	-0.40
Soggetto 4	5.79	6.05	-0.26
Soggetto 5	9.8	7.45	2.35
Soggetto 6	7	6.98	0.02
Soggetto 7	7.12	5.97	1.15
Soggetto 8	5.84	6.65	-0.81
Media	6.71	6.57	
Dev.St	±1.38	±0.72	

Test t: due campioni accoppiati per medie= 0.35, df 7; P=0.74; Cohen's d=0.13

Figura 13 - Valori baropodometrici dinamici della Pressione Media esercitata, nell'esecuzione del Drop Jump (30 cm), sulle due superfici



Baropodometria elettronica dinamica eseguita sulle diverse superfici di studio.
Superficie 1: NPM; Superficie 2: PSM

Drop Jump bi-podalico su Pedana
Baropodometrica ultrasottile
(40 cm X 40 cm, h 1 mm)

Figura 14 - Valori baropodometrici dinamici della Pressione Media esercitata, nell'esecuzione del Drop Jump (30 cm), sulle due superfici

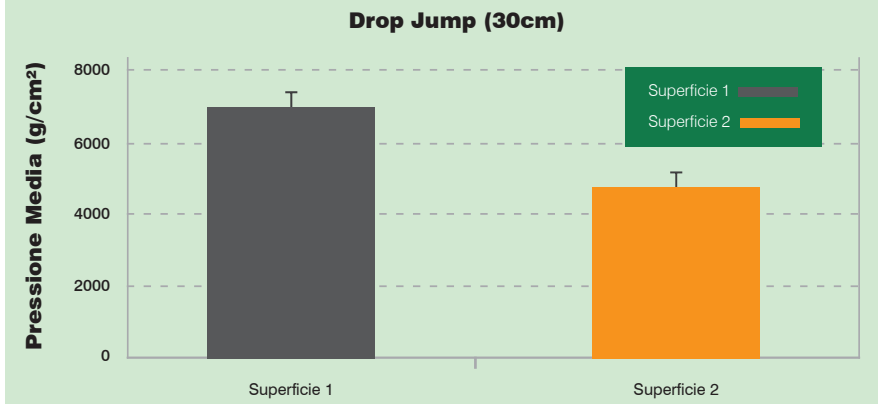


Figura 15 - Valori baropodometrici dinamici dei tempi di contatto sulle due superfici

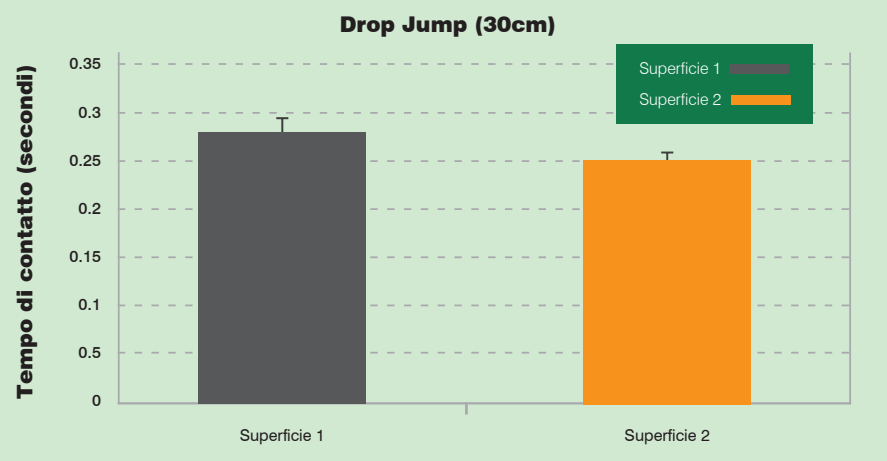
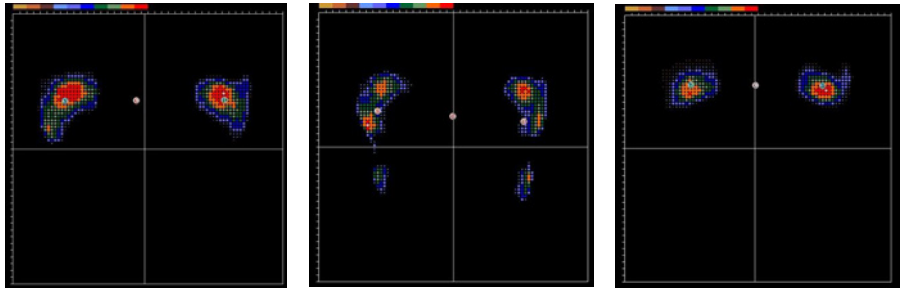


Tabella 26 - Comparazione dei dati di pressione (g/cm²) e tempo di contatto nel Drop Jump (30 cm) sulle diverse superfici

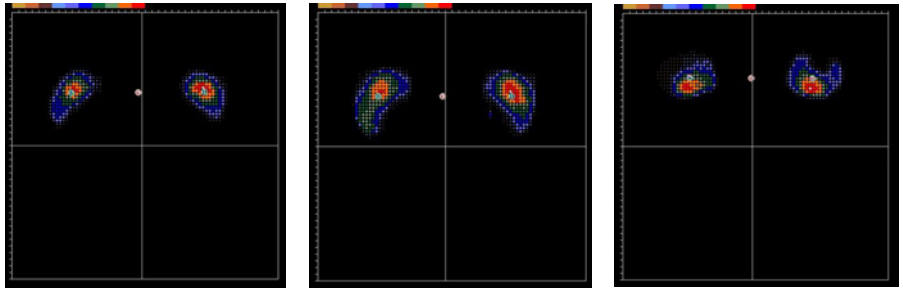
	Superficie 1 (Media ± Dev.St)	Superficie 2 (Media ± Dev.St)	Differenza % fra la Superficie 1 e Superficie 2
P Max (g/cm²)	9930.38 ± 496.52	6870,29 ± 343.52	31%
P Media (g/cm²)	7068.10 ± 353.41	4589.30 ± 229.47	15%
TC (s)	0.280 ± 0.014	0.250 ± 0.013	11%

P Max= pressione massima; P Med=Pressione media; TC= Tempo Contatto



Fase di atterraggio *Fase di caricamento* *Fase terminale di spinta*

Immagine 8 - *Baropodometria elettronica sulla pavimentazione NPM*



Fase di atterraggio *Fase di caricamento* *Fase terminale di spinta*

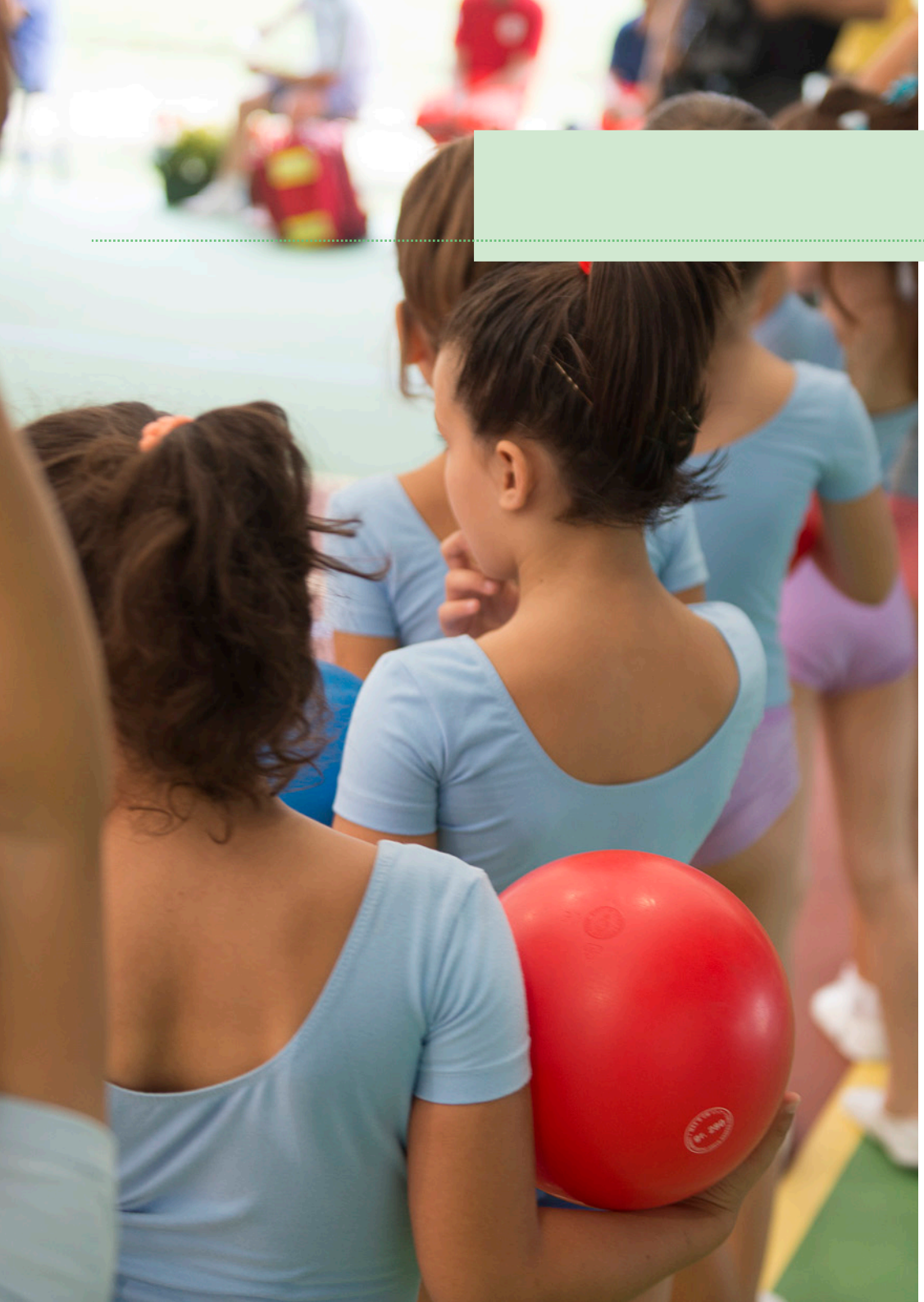
Immagine 9 - *Baropodometria elettronica sulla pavimentazione PSM*

Legenda scala pressoria immagine 8-9: valori incrementali da sinistra a destra

Dall'analisi dei dati del test Drop Jump effettuato su pedana baropodometrica elettronica, si è riscontrato che le pressioni e i tempi di contatto sono maggiori sulla pavimentazione in fase di sperimentazione (NPM) (fugura 13, 14, 15; t-test, $p<0.05$). Tale differenza è visibile anche in analisi qualitativa, come riportato in (figure 8 e 9), dove le diverse pressioni esercitate durante lo svolgimento del test Drop Jump, sono illustrate graficamente dalla diversa scala cromatica adottata (vedi legenda scala pressoria). Le figure presentate si riferiscono a tre Momenti Notevoli identificati per la loro rilevanza biomeccanica (fase di atterraggio o fase eccentrica, fase di caricamento o fase di inversione eccentrica-concentrica, fase terminale di spinta o fase concentrica). Si sottolinea che tali Momenti Notevoli rappresentano un campionamento arbitrario esercitato su un fenomeno continuo (analogico) per motivi di studio.
Si potrebbe ipotizzare, nonostante che i soggetti analizzati non fossero atleti professionisti e con presumibili difficoltà coordinative di esecuzione del Drop Jump, una maggiore proprietà elastica, quindi ammortizzante e di conseguenza meno traumatizzante, della pavimentazione in sperimentazione (NPM).

Conclusioni e possibili sviluppi futuri

Questo lavoro si presenta come studio pilota in vista di ulteriori approfondimenti (test di Prato aprile 2014) sul tema della comparazione degli effetti di superfici derivate da tecnologia di riciclo di materiali provenienti da Pneumatici Fuori Uso ed altre tipologie di pavimentazione standard utilizzate nella costruzione di palestre o campi da gioco. Queste prime analisi consentono di ipotizzare che la superficie studiata a Medolla (NPM), presenti caratteristiche medie di restituzione elastica e di attrito, intermedie quindi fra superfici molto dure ad alta restituzione di energia e superfici morbide (con grandi capacità di assorbimento degli urti). In questo senso è ipotizzabile affermare che tale superficie possa corrispondere adeguatamente alla richiesta di alta performance muscolare (in acuto) e, presumibilmente, una discreta capacità di assorbimento degli urti, con buona resa quindi in termini di sopportazione prolungata di carichi (effetto cronico).
Gli evidenti limiti di questo studio tuttavia (scarsa numerosità campionaria, limiti nella logistica e nella possibilità di uso degli ambienti) impongono una serie di ulteriori accertamenti per una più corretta definizione del quadro di ricerca proposto.



Bibliografia

1. Alexander, R. M. *Elastic Mechanisms in Animal Movement.* Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1988.
2. Belli A, Bosco C. *Influence of stretch-shortening cycle on mechanical behaviour of triceps surae during hopping.* Acta Physiol Scand. 1992 Apr;144(4):401-8.
3. Blickhan, R. *The spring-mass model for running and hopping.* J. Biomech. 22: 1217–1227, 1989.
4. Bogdanov P., Ivanov S.; *BIOMECCANICA DEGLI ESERCIZI FISICI;* 1989 SSS; Roma.
5. Buglione A, di Prampero *PE THE ENERGY COST OF SHUTTLE RUNNING* Eur J Appl Physiol. 2013 Jun;113(6):1535-43. doi: 10.1007/s00421-012-2580-9. Epub 2013 Jan 9.
6. Cavagna GA, Heglund NC, and Taylor CR. *Mechanical work in terrestrial locomotion: two basic mechanisms for minimizing energy expenditure.* Am J Physiol Regulatory Integrative CompPhysiol 233: R243–R261, 1977.
7. Colli R, Buglione A, Introini E, D'Ottavio S *L'allenamento intermittente tra scienza e prassi.* Scuola dello Sport n° 72 Gennaio-Marzo 2007 pag. 45-52.
8. de Koning JJ, Nigg BM, Gerritsen KG. Assessment of the mechanical properties of area-elastic sport surfaces with video analysis. Med Sci Sports Exerc. 1997 Dec;29(12):1664-8.

9. Donnskoj D., Zatziorskij V.; *BIOMECCANICA*; 1983; SSS; Roma.

10. Drakos MC, Taylor SA, Fabricant PD, Haleem AM. S*ynthetic playing surfaces and athletes health.* J. Am. Acad. Orthop. Surg. 2013; 21: 293-302.

11. Ekstrand J, Nigg BM. *Surface-related injuries in soccer.* Sports Med. 1989 Jul;8(1):56-62.

12. Farley CT., Houdijk HHP., Van Strien C. and Louie M. *Mechanism of leg stiffness adjustment for hopping on surfaces of different stiffness.* J Appl Physiol 85:1044-1055, 1998.

13. Ferris, D. P., and C. T. Farley. *Interaction of leg stiffness and surface stiffness during human hopping.* J. Appl. Physiol. 82: 15–22, 1997.

14. Ferris, D. P., M. Louie, and C. T. Farley. *Running in the real world: adjustments in leg stiffness for different locomotion surfaces.* Proc. Roy. Soc. B. 265: 989–994, 1998.

15. Gollhofer, A. *Innervation characteristics of m. gastrocnemius during landing on different surfaces.* In: Biomechanics X-B, edited by B. Jonsson. Champaign, IL: Human Kinetics, 1987, p. 701–706.

16. Katkat D., Bulut Y., Demir M., Akar S. *Effects of different sport surfaces on muscle performance.* Biol Sport, 26 (3), 285-96; 2009.

17. Kerdok AE., Biewener AA., McMahon TA. Weyand PPG. and Herr HM. *Energetic mechanism of human running on surfaces of different stiffness.* Appl Physiol 92:469-478, 2002.

18. Kolitzus HJ. Ball Roll Behavior *The Functional Relationship of the Ball Roll Distance and the Timing Gate Method*. IST Switzerland, United States Sports Surfacing Laboratory USSL www.isss.sportsurfacescience.org.

19. Kolitzus HJ. *Artificial Turf Surfaces for Soccer*. IST Switzerland, United States Sports Surfacing Laboratory USSL www.isss.sportsurfacescience.org.

20. Johnson DL,Urban WP, Caborn DN, Vanarthos WJ, Carlson CS, 1998.*Articular cartilage changes seen with magnetic resonance imaging-detected bone bruises associated with acute anterior cruciate ligament rupture*. American Journal of Sports Medicine26,409–414.

21. Mcmahon, T. A., and P. R. Greene. *The influence of track compliance of running*. J. Biomech. 12:893–904, 1979.

22. McNitt-Gray, J. L., T. Yokoi, and C. Millward. *Landing strategy adjustments made by female gymnasts in response to drop height and mat composition*. J. Appl. Biomech. 9: 173–190, 1993.

23. McNitt-Gray, J. L., T. Yokoi, and C. Millward. *Landing strategies used by gymnasts on different surfaces*. J. Appl.Biomech. 10: 237–252, 1994.

24. Meyer EG., Willwock MR., Haut RC., 2009. *Osteochondrtal microdamage from valgus bending of the human knee*. Clinical Biomechanics 24, 557-582.

25. Nigg, B. M., and B. Segesser. *Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction*. Med. Sci. Sports Exerc. 24: 595–602, 1992.

26. Nigg, B. M., D. Stefanyshyn, and J. Denoth. *Mechanical considerations of work and energy.* In: Biomechanics and Biology of Movement, B. M. Nigg, B. R. MacIntosh, and J. Mester (Eds.). Champaign, IL: Human Kinetics, 2000, pp. 5-18.

27. Pasanen K, Parkkari J, Rossi L, Kannus P. *Artificial playing surface increases the injury risk in pivoting indoor sports: a prospective one-season follow-up study in Finnish female floorball.* Br J Sports Med. 2008 Mar;42(3):194-7. Epub 2007 Oct 11.

28. Picerno P, Camomilla V, Capranica L. *Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit* J Sports Sci. 2011 Jan;29(2):139-46. doi: 10.1080/02640414.2010.523089.

29. Ruscello B, Tozzo N, Briotti G, Padua E, Ponzetti F, D'Ottavio S. *Influence of the number of trials and the exercise to rest ratio in repeated sprint ability, with changes of direction and orientation*. J Strength Cond Res. 2013 Jul;27(7):1904-19. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182736adf.

30. Sacripanti A.; *BIOMECCANICA DEGLI SPORT*; 2004; Edizioni Il Vascello; Roma.

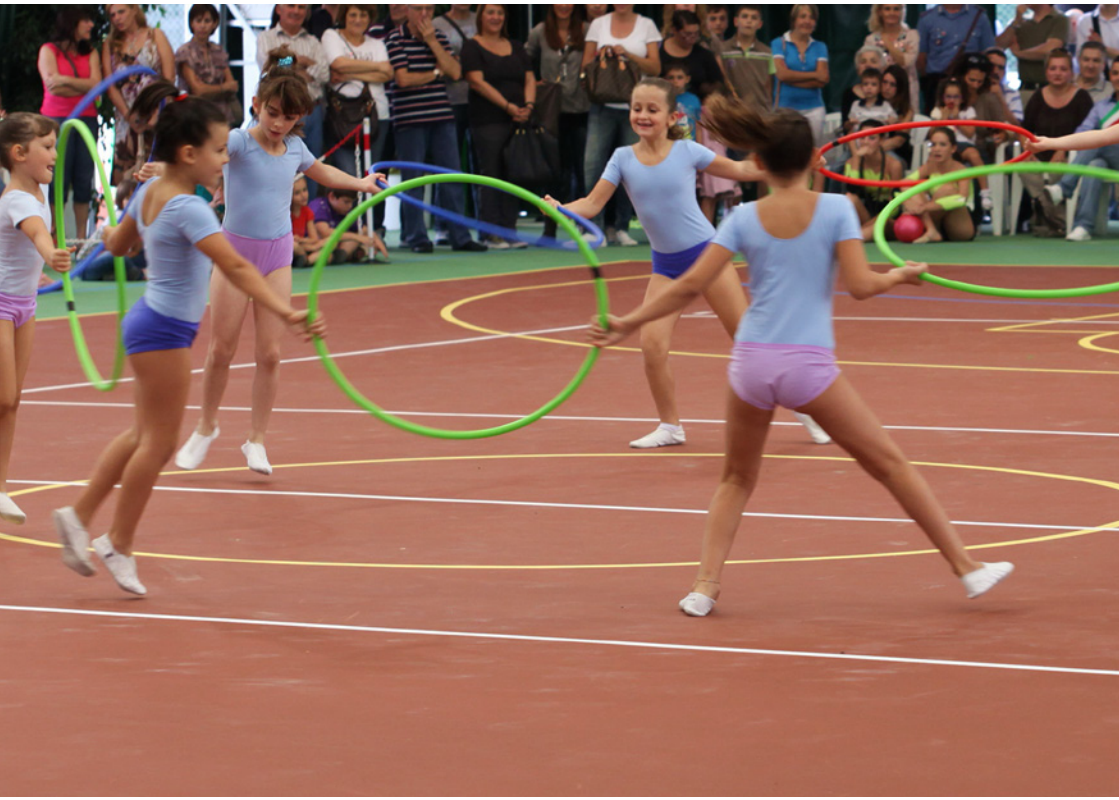
31. Sanders, R. H., and B. D. Wilson. *Modification of movement patterns to accommodate to a change in surface compliance in a drop jumping task.* Hum. Mov. Sci. 11: 593–614, 1992.

32. Sanders, R. H., and J. B. Allen. *Changes in net joint torques during accommodation to change in surface compliance in a drop jumping task*. Hum. Mov. Sci. 12: 299–326, 1993.

33. Shorten MR, and Himmelsbach JA. *Sports surfaces and the risk of traumatic brain injury*. BioMechanica, LLC, Portland, Oregon, USA. www.isss.sportsurfacescience.org.

34. Yeow CH., Lau ST., Lee PVS., Goh JCH. 2009. D*amage and degenerative changes in meniscal-covered and exposed tibial osteochondral regions after simulated landing impact compression*. J. Orthopaedic Res. 27, 1100-08.

35. Taylor SA., Fabricant PD., Khair MM., Haleem AM., *Drakos MC. A review of synthetic playing surfaces, the shoe-surfaces interface and lower extremity injuries in athletes.* The Physician and sportsmedicine; 40 (4) 66-72. 2012.

Progetto grafico: *Peja Design;*
Fotografie: *ICP, Videoservice Italia, Gabriele Peja.*
Stampa: *TMB Stampa Roma.*
Finito di stampare nel mese di marzo 2016.

COPRISCOPRI