



DA RIFIUTI A RISORSE: NUOVE SOLUZIONI, IN ECODESIGN, PER LA SOSTENIBILITÀ NELLE PAVIMENTAZIONI SPORTIVE

Sempre più l'attenzione industriale e accademica si sta focalizzando su tecniche di "ecodesign" per evitare l'utilizzo di materiali fossili, specie se di carico ambientale oneroso; di pari passo, in economia, si discute di circolarità all'uso delle sostanze. Esempi virtuosi sono quelli di cariche minerali per materiali polimerici provenienti da altre industrie o, in generale, l'uso di scarti o sottoprodotti non immediatamente utilizzabili altrove in luogo di materie prime vergini.

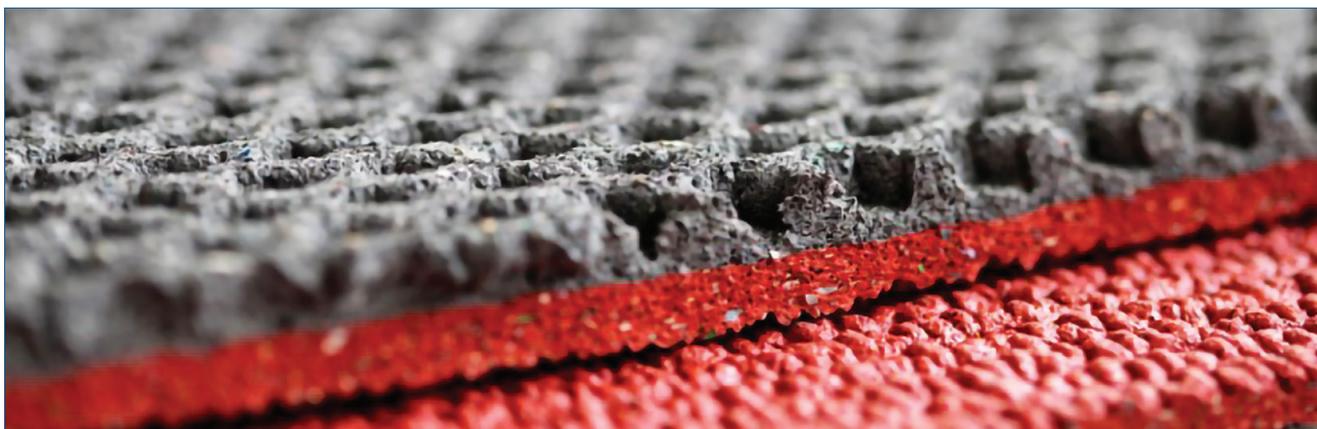
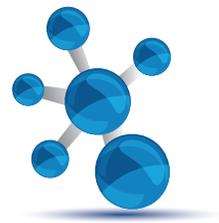


Fig. 1 - Esempio (dettaglio) di un pavimento sportivo in gomma (pista atletica) realizzato da Mondo

L'azienda Mondo nasce ad Alba nel 1948 come produttrice di palloni per il gioco del pallone elastico (noto anche come "pallapugno", esercizio sportivo immortalato in alcune pagine di celebri scrittori langaroli): oggi Mondo è un gruppo internazionale con stabilimenti produttivi in Italia, Spagna e Lussemburgo, oltre a filiali commerciali in Europa, Nord America e Asia. Con tre unità di business, Mondo Sport & Flooring, Artigo e Mondo Toys, il Gruppo è leader nei rispettivi settori di

pavimentazioni e attrezzature sportive, pavimentazioni commerciali, palloni e giocattoli. In più di settant'anni di appassionato lavoro migliaia di atleti hanno gareggiato sulle piste e sui pavimenti sportivi Mondo raggiungendo risultati eccezionali, infrangendo record mondiali e superando i propri limiti. Mondo progetta, produce e fornisce soluzioni sportive sicure e sostenibili sia per gli atleti che le utilizzano quotidianamente sia per l'ambiente in cui vengono installate. L'impegno di Mondo nel



ridurre l'impronta ambientale ("carbon footprint") dei propri prodotti inizia dal modo in cui vengono progettati e continua nel modo in cui vengono selezionate le materie prime, le fonti energetiche che alimentano gli impianti, fino al modo in cui i pavimenti vengono smaltiti o riciclati, con un'attenzione costante al concetto di circolarità nell'impiego delle risorse.

Questa filosofia ha ispirato una nuova generazione di pavimenti resilienti altamente ecosostenibili dal punto di vista ambientale, realizzati con un nuovo approccio progettuale (denominato *bioinspired*) fondato sul trasferimento delle conoscenze e dei principi biologici presenti in natura (Fig. 1). Nelle pavimentazioni resilienti si utilizza il carbonato di calcio come carica al fine di aumentarne la densità, la stabilità dimensionale e la resistenza al fuoco; tuttavia, tale materiale non è rinnovabile e proviene da fonti minerarie/fossili. Gli studi su un'alternativa sostenibile al carbonato di calcio hanno condotto il gruppo di Ricerca e Sviluppo di Mondo a valutare la fattibilità tecnica e commerciale dell'utilizzo del carbonato di calcio di origine marina come "filler biogenico", ricavato con opportuni trattamenti da gusci di molluschi bivalvi, pertanto proveniente da biomassa rapidamente rinnovabile. Da sottolineare che, ad oggi, questi gusci di molluschi bivalvi risultano scarti dell'industria dei frutti di mare (7 milioni di t/anno) destinati, purtroppo, al conferimento in discarica, un iter che, oltre al costo, risulta inutile se non dannoso per l'ambiente, rappresentando, comunque, uno spreco di biomateriali potenzialmente riutilizzabili.

Le conchiglie dei molluschi bivalvi risultano formate in massima parte da carbonato di calcio (90-95%), oltre che da fosfato di calcio (idrossiapatite) e da un'altra sostanza proteica, la conchiolina. Quest'ultima è causa di cattivo odore, per cui le conchiglie devono essere sottoposte a trattamenti specifici prima di essere micronizzate ed aggiunte alle mescole di elastomero che andranno a costituire superfici resilienti per lo sport.

Il lavoro di sviluppo effettuato da Mondo è stato quello, prima di tutto, di studiare la fattibilità dell'applicazione, per verificare le opportune condizioni e i trattamenti a cui sottoporre tale materiale affinché potesse essere utilizzato come riempitivo nelle mescole per pavimentazioni sportive

e civili con uguali proprietà rispetto al carbonato "minerario", senza comprometterne le proprietà finali. Successivamente si è operato per creare una filiera tale da avere una linea di lavorazione in grado di soddisfare i quantitativi legati alle richieste di una produzione industriale.

Il crescente interesse per soluzioni sostenibili nel settore delle pavimentazioni ha portato all'adozione del carbonato biogenico come alternativa ecologica e innovativa. Questo materiale non solo offre vantaggi ambientali, come il sequestro della CO₂ atmosferica, ma anche opportunità per lo sviluppo di una nuova filiera industriale e la valorizzazione di una "materia prima seconda".

Riconoscere il carbonato biogenico da quello minerario

Il carbonato biogenico e quello minerario possono sembrare simili, tuttavia presentano differenze fondamentali, conseguenza intrinseca della loro origine e composizione, legate a vari elementi, quali:

- il carbonato biogenico è sintetizzato da organismi viventi, come coralli, molluschi e alghe, attraverso processi biologici che avvengono in mare a pressioni maggiori rispetto a quella atmosferica;
- nel carbonato biogenico è presente in misura del 4-6% la conchiolina, costituita da un insieme di proteine secrete dal mollusco stesso. Queste proteine, insieme ad altre macromolecole, formano una matrice che costituisce l'ambiente in cui nucleano e crescono i cristalli di aragonite che compongono la conchiglia dei molluschi. La conformazione dell'ambiente a livello molecolare (dovuta alla forma e alla disposizione delle macromolecole di conchiolina) favorisce la formazione di cristalli di aragonite in luogo di calcite;
- il carbonato minerario è formato da depositi minerali che si sono accumulati nel corso di milioni di anni.

Le diverse forme cristalline del carbonato di calcio (calcite trigonale romboedrica, scalenoedrale e aragonite ortorombica) possono conferire proprietà variabili al prodotto finale in cui il carbonato di calcio è impiegato in qualità di carica rinforzante. La diffrazione a raggi X (XRD: X-ray diffraction) è una tecnica analitica per identificare la struttura e i cristalli presenti in una combinazione di elementi come i minerali nella roccia. Per i minerali

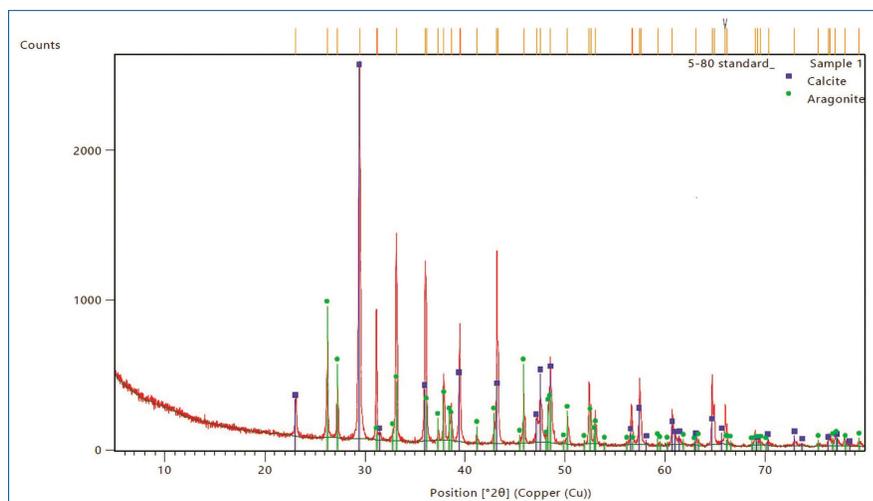


Fig. 2 - Sample 1: spettri del CaCO₃ biogenico

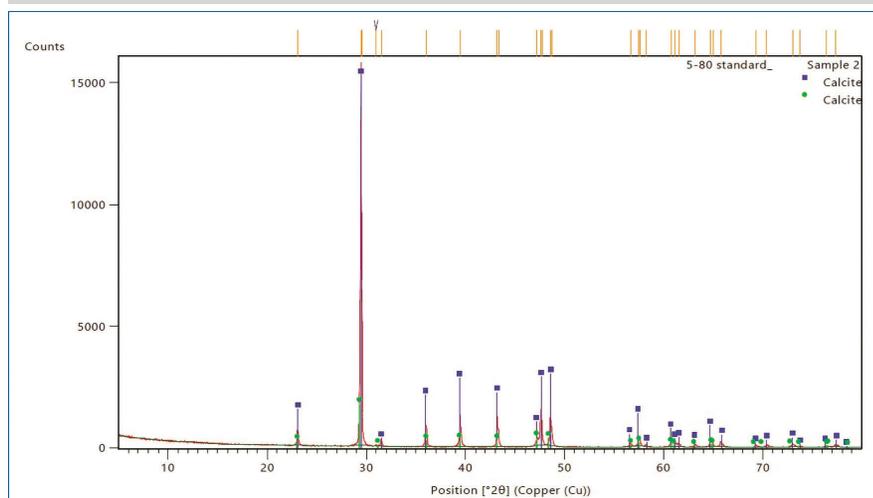


Fig. 3 - Sample 2: campione commerciale di CaCO₃ minerario

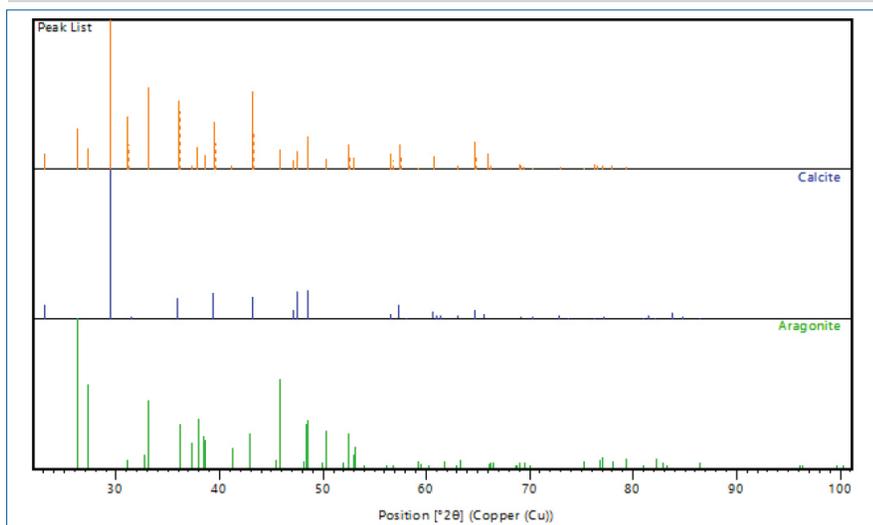


Fig. 4 - Spettri XRD di riferimento

con formule e strutture variabili come i carbonati, il metodo XRD è il migliore per la loro identificazione e la determinazione della loro proporzione in un campione: gli spettri identificano in maniera certa ciascuna forma cristallina che risponde alla radiazione con angoli di diffrazione differenti.

Il CaCO₃ proveniente da attività estrattive e quello proveniente da gusci di molluschi bivalvi si distinguono per la presenza di forme cristalline diverse; pertanto, attraverso l'analisi diffrattometrica XRD, è possibile capirne la provenienza.

Come è noto in letteratura, il carbonato proveniente dal mondo marino/acquatico è caratterizzato dal prevalere della forma cristallina dell'aragonite. Il carbonato presente nelle conchiglie è di solito sotto forma di aragonite, anche se alcune presentano sia aragonite che calcite, mentre altre, come le ostriche, contengono principalmente calcite. L'aragonite, polimorfo della calcite, è una struttura cristallina instabile con densità maggiore della calcite (3 g/cm³ e 2,7 g/cm³ rispettivamente), dovuta alla maggiore coordinazione del calcio e quindi ad un reticolo cristallino più compatto; ha il suo campo di stabilità a pressione più alta e temperatura più bassa, requisiti che si verificano principalmente in acqua, dove si sviluppano i molluschi bivalvi. Invece i carbonati provenienti da estrazioni minerarie sono costituiti principalmente da calcite e da altri cristalli minerali, ma in essi non è presente l'aragonite.

A dimostrazione di quanto detto, sono stati realizzati attraverso diffrattometro (XPert Pro),

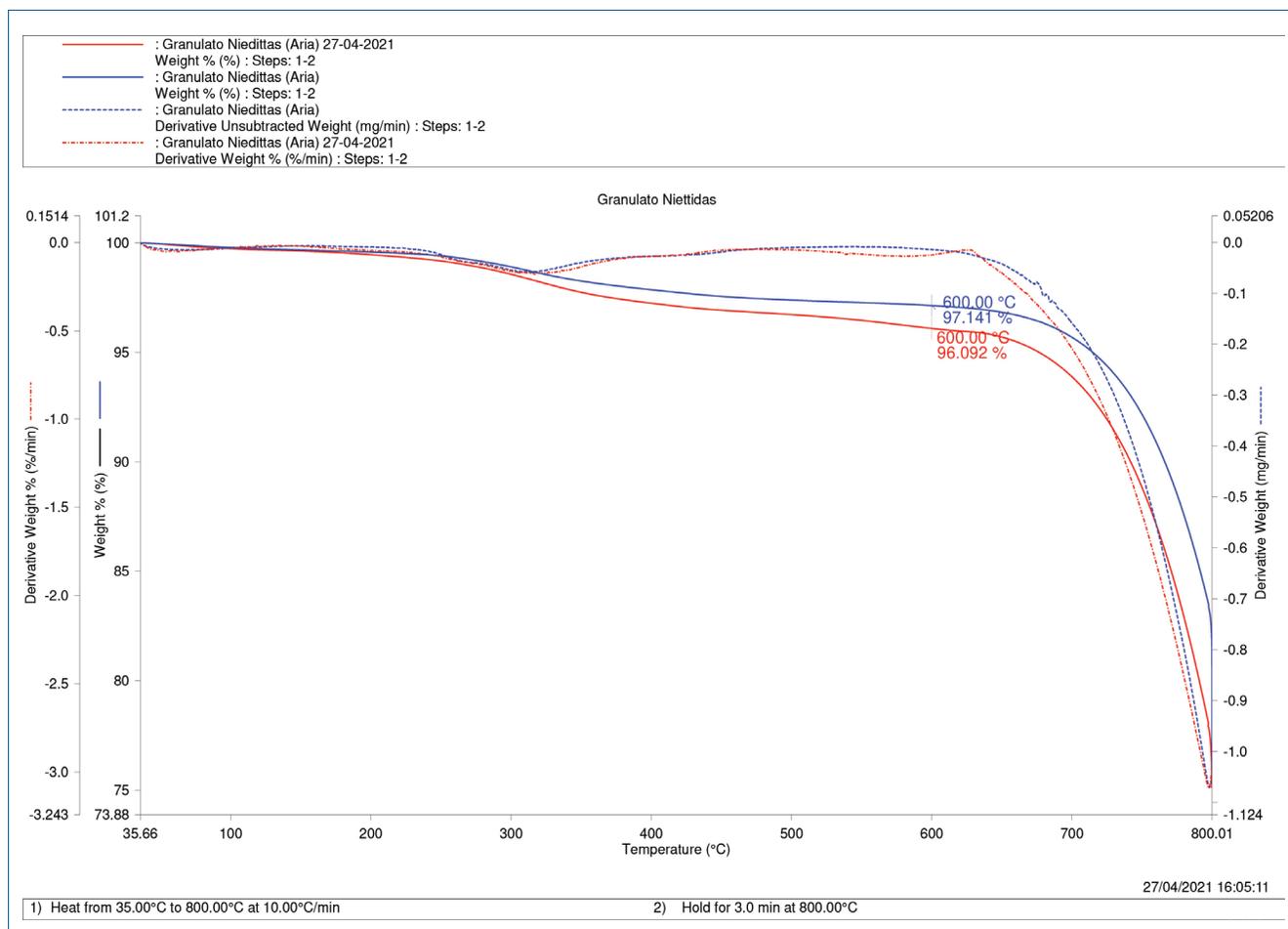


Fig. 5 - TGA di campioni di gomma contenente carbonato "biogenico"

eseguendo una scansione tra $5 \leq 2\theta \leq 80$, gli spettri del CaCO_3 biogenico costituito da gusci di molluschi bivalvi polverizzati provenienti dalla Sardegna (Sample 1, Fig. 2) e di un campione commerciale di CaCO_3 proveniente da un sito minerario in Toscana (Sample 2, Fig. 3).

I risultati ottenuti dai diversi campioni (in forma di polvere) sono stati confrontati con gli spettri XRD delle fasi pure (Fig. 4) di calcite e aragonite.

Al fine di poter valutare l'origine del carbonato attraverso il suo contenuto di sostanza organica si è ricorso all'analisi termogravimetrica (TGA), con la quale si misura la variazione di massa del campione in funzione della temperatura (in condizioni di atmosfera controllata).

L'analisi è stata eseguita su campioni di gusci preventivamente lavati in acqua dolce ed asciugati, al fine di eliminare eventuale presenza di sali (per esempio NaCl ed eccesso di componenti organici),

successivamente macinati e micronizzati. La presenza della sostanza organica, cioè la conchiolina, è visibile dal termogramma come perdita di peso del campione nell'intervallo di temperature tra i 200 e i 300 °C; questo perché una perdita di peso dovuta a una degradazione del carbonato di calcio avviene a temperature più elevate, oltre 500 °C (Fig. 5). Pertanto, il carbonato biogenico è identificabile e riconoscibile attraverso la struttura cristallina che lo caratterizza, cioè l'aragonite, ed una percentuale del 4-7% di massa organica che indica la presenza della conchiolina.

Vantaggi ambientali del carbonato biogenico e applicazione nelle pavimentazioni in gomma

L'utilizzo di CaCO_3 proveniente da gusci di molluschi bivalvi comporta una serie di vantaggi sia dal punto di vista ambientale sia da quello della sostenibilità.

In primo luogo, vi è disponibilità e rinnovabilità di tale materiale, oltre ad avere una significativa riduzione dei rifiuti generati nella filiera originale. I gusci di cozze sono prodotti in grandi quantità come sottoprodotto dell'industria alimentare: sono facilmente reperibili e rapidamente rinnovabili. Questo approccio circolare permette di valorizzare i sottoprodotti della filiera ittica contribuendo così ad una gestione sostenibile dei sottoprodotti e trasformando un rifiuto in una risorsa.

In aggiunta a ciò, si può evidenziare l'elevata capacità di sequestro di CO_2 , in quanto i molluschi bivalvi hanno il potere di trasformare la CO_2 disciolta nell'acqua in CaCO_3 . Durante la formazione dei loro gusci o conchiglie vengono assorbiti ioni di calcio (Ca^{2+}) e ioni di carbonato (CO_3^{2-}) dall'acqua circostante per formare cristalli di carbonato di calcio. Questo processo rimuove il carbonio dall'acqua di mare, sequestrando così il carbonio sotto forma di calcare.

La mineralizzazione del carbonato di calcio non solo aiuta i molluschi a costruire i loro gusci, ma contribuisce anche al bilancio del carbonio nell'ambiente marino. Questo fenomeno è di interesse perché può avere implicazioni nella mitigazione dei cambiamenti climatici, in quanto il carbonio sequestrato nei gusci dei molluschi può essere rimosso dall'atmosfera per lunghi periodi di tempo.

A riprova del vantaggio ambientale di queste soluzioni sono stati effettuati calcoli di LCA (Life Cycle Analysis) comparando la soluzione mineraria (o fossile) con quella, innovativa, basata su carbonato biogenico: queste valutazioni, basate su una formulazione di pista di atletica in cui sono state fatte variare solo le componenti di filler a base CaCO_3 , dimostrano una riduzione promettente di GWP (Global Warming Potential), che potrebbe addirittura migliorare, incrementando metodi sostenibili anche per la produzione (ad esempio, di tutte quelle fasi in cui energia fossile può essere sostituita da energia rinnovabile).

Conclusioni

L'utilizzo del carbonato biogenico nelle pavimentazioni in gomma rappresenta una soluzione innovativa e sostenibile per il settore delle costruzioni, offrendo vantaggi ambientali significativi come il se-

questro di CO_2 atmosferica e la riduzione delle emissioni di gas serra, oltre alla sostituzione di un materiale minerario con uno velocemente rinnovabile. Inoltre, l'impiego di carbonato di calcio biogenico al posto del carbonato di calcio di estrazione mineraria può conferire al materiale di rivestimento di una pavimentazione resiliente in gomma caratteristiche meccaniche superiori, grazie alla specifica struttura cristallina del carbonato di calcio, che permette un'ottimale distribuzione dei carichi e delle sollecitazioni, grazie alla presenza della componente proteica (conchiolina). Nello specifico, i gusci dei molluschi presentano una struttura gerarchica in cui strati proteici di conchiolina fanno da ponte tra i diversi strati dei cristalli di carbonato di calcio biogenico. La presenza della conchiolina e la peculiare struttura del carbonato di calcio biogenico consentono una maggiore compatibilità con la matrice polimerica, seppur il meccanismo di compatibilizzazione non sia ad oggi noto; è interessante comunque evidenziare la similitudine di resa con l'impiego, ad esempio, quale rinforzante, di silice additivata con composti organosilanic. Con il suo potenziale per promuovere una nuova filiera industriale e contribuire alla transizione verso un'economia più verde e circolare, il carbonato biogenico si configura come un'opportunità chiave per creare un futuro più sostenibile e resiliente per il nostro pianeta.

From Waste Materials into New Resources: New Solutions, via Ecodesign, for Sustainable Sport Flooring

There is an increasing interest, both from industry and academic perspective to "ecodesign" approaches, to avoid the use of fossil resources based materials, especially if they have substantial environmental impacts. At the same time more and more economical analysis is focusing on "circular" approaches for materials. Relevant examples, for polymeric materials, are those of fillers deriving from other industries or, more in general, the use of waste materials or byproducts from other processes.