

PERCEZIONE E PLASTICHE SOSTENIBILIUn tool digitale per gestire
estetica e sostenibilità**PERCEPTION AND SUSTAINABLE PLASTICS**A digital tool to manage
aesthetics and sustainability

Barbara Del Curto, Lia Sossini, Romina Santi, Flavia Papile

ABSTRACT

Ad oggi i designer si esprimono nella progettazione ma assumono un ruolo attivo anche nell'applicazione di nuovi materiali, divenendo sia sperimentatori sia esperti della gestione di estetica e sensorialità. Le plastiche sostenibili sono relativamente nuove sul mercato, ma, nonostante un grande interesse applicativo, non sono ancora caratterizzate da una chiara identità estetico-sensoriale. Questo studio esplora le proprietà estetico-espressive delle plastiche sostenibili secondo i principi del design CMF e mira ad approfondirne la percezione negli utenti. I dati, raccolti tramite due attività di indagine, hanno permesso di progettare uno strumento digitale volto a creare maggiore consapevolezza nei progettisti che intendono avvicinarsi alla progettazione con le plastiche sostenibili e a valorizzarne gli effetti percettivi.

Today, designers find expression through project design but also assume an active role in the application of new materials, becoming both researchers and experts in the management of aesthetics and sensoriality. Sustainable plastics are relatively new on the market, but, despite considerable application interest, they do not yet have a clear aesthetic-sensory identity. This study explores the aesthetic-expressive properties of sustainable plastics according to the principles of CMF design and aims to investigate user perception. The data, collected through two surveys, has enabled the development of a digital tool to create greater awareness in designers wishing to approach design with sustainable plastics and enhance their perceptual effects.

KEYWORDS

plastiche sostenibili, percezione dei materiali, progettazione digitale, estetica, identità materica

sustainable plastics, material perception, digital design, aesthetics, material identity

Barbara Del Curto, PhD in Materials Engineering, is a Full Professor of Design at the Politecnico di Milano (Italy). Her research focuses on the design of materials and surfaces, with particular attention to innovative and functional materials, nanotechnologies and functional surface treatments. E-mail: barbara.delcurto@polimi.it

Lia Sossini is a Research Fellow at the Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering 'Giulio Natta' at the Politecnico di Milano (Italy). Her work focuses mainly on analysing the perception of sustainable materials that combine elements of CMF design and sustainability. Mob. +39 346/793.12.08 | E-mail: lia.sossini@polimi.it

Romina Santi, PhD, is a Researcher at the Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering 'Giulio Natta' of the Politecnico di Milano (Italy). Her research focuses on the effects of materials design on consumer behaviour, with a particular focus on the impact on sustainability. E-mail: romina.santi@polimi.it

Flavia Papile, PhD, is a Research Fellow at the Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering 'Giulio Natta' of the Politecnico di Milano (Italy). Her research focuses on the transferability in corporate contexts of design methodologies to redefine the material selection process with a view toward sustainable production. E-mail: flavia.papile@polimi.it



In un momento di transizione verso nuovi modelli di produzione, il Design assume un ruolo centrale (Antonelli, 2008) introducendo nuovi modelli di consumo, trovando nuove soluzioni materiche o potenziando l'aspetto digitale. Ad oggi assistiamo a una rivoluzione nei materiali per il design: designer e aziende sono costantemente alla ricerca di alternative 'più sostenibili' rispetto a quelle tradizionali, indagando su materiali a base biologica, biodegradabili e/o compostabili, provenienti da scarti, riciclo, ecc. (Bahrudin and Aurisicchio, 2018; Rognoli et alii, 2015). Il veloce sviluppo e inserimento sul mercato di questi nuovi materiali ha dato prova di grande prontezza industriale, ma ha anche generato una 'crisi' della loro identità estetico-sensoriale, producendo confusione e contraddizioni nella percezione dei consumatori. La presente ricerca si inserisce nell'ambito della progettazione per l'economia circolare, esplorando la sostenibilità da una prospettiva orientata ai materiali e riflettendo sul ruolo del designer. Il lavoro è stato condotto in continuità con le ricerche sulla progettazione innovativa del gruppo Making Materials¹ (Papile et alii, 2021; Papile, Marinelli and Del Curto, 2020). Le necessità dovute allo smart working e la velocità dell'evoluzione tecnologica, accelerate anche dalla pandemia Covid-19, hanno fatto sì che gran parte delle attività quotidiane si trasferissero online, cambiando le modalità di interagire e acquisire conoscenza (Almeida, Duarte Santos and Monteiro, 2020).

Le immagini sono diventate il veicolo principale di informazioni e al senso della vista viene data la responsabilità di percepire e trasferire emozioni e sensazioni. Nonostante alcuni studi sperimentali su possibili schermi aptici (Shin, Cho and Lee, 2020; Chang and Nesbitt, 2006), non si è ancora introdotta una soluzione che permetta di 'fruire' efficacemente delle caratteristiche materiche in modalità digitale. L'obiettivo della presente ricerca è indagare come gli attributi materici che, ad oggi risultano fortemente legati all'interazione con campioni fisici di materiali, possano essere tradotti digitalmente. L'ideazione di SMaPT (Sustainable Materials and Perception Tool) ha una diretta ricaduta sulle attività di selezione dei materiali e di progettazione, per cui la progressiva digitalizzazione ha reso sempre più difficile la comunicazione di caratteristiche legate a sensi diversi dalla vista.

I materiali presi in esame per lo studio sono le 'plastiche sostenibili' (PS), ossia plastiche riciclate e le bioplastiche, che nascono come risposta alle politiche europee sulla sostituzione delle plastiche fossili (European Parliament, 2019). Le PS, tanto per l'origine quanto per le proprietà e i processi, hanno spesso qualità sensoriali uniche (Zafarmand, Sugiyama and Watanabe, 2003). A causa del crescente interesse dei consumatori per i temi della sostenibilità, le aziende hanno iniziato a sfruttare strategicamente le caratteristiche proprie dei materiali sostenibili anche come leva di marketing. È importante precisare che nell'ottica di economia circolare, non è da considerarsi sostenibile il mere prodotto o il materiale ma l'intero sistema che gli ruota intorno (Gardien et alii, 2014). Diventa pertanto fondamentale comprendere come le PS vengono percepite dal consumatore e quali dubbi, incertezze e comportamenti non-sostenibili potrebbero generare (Santi, Elegir and Del Curto, 2020).

Attraverso la definizione di un'identità di PS, i prodotti possono essere implementati sulla dimensione sensoriale-espressiva anche per indurre pratiche sostenibili. Raggiungere questo risultato è un processo complesso dal momento che solo alcuni aspetti sensoriali dei materiali possono essere facilmente misurabili; altre proprietà sono combinazione di processi attraverso i quali gli utenti sperimentano un prodotto (Karana, 2009). Diversi studi (Balaji, Raghavan and Jha, 2011; Spence and Gallace, 2011; Wilkes et alii, 2016; Zuo et alii, 2016) si sono occupati di questo aspetto, analizzando come i materiali comunicano le loro proprietà e come la percezione sensoriale influenzi il design. Gli elementi che entrano in gioco sono complessi, sia per l'esclusività delle caratteristiche dei materiali sia per la relazione tra le sensazioni evocate e la dipendenza dal contesto (Fleming, 2014). Il progettista può selezionare e modellare gli attributi estetico-sensoriali dei materiali per progettare anche la percezione dell'utente in relazione all'intento del progetto (Bahrudin and Aurisicchio, 2018).

Il design CMF (Colore, Materiale e Finitura) facilita invece la generazione di equilibrio comunicativo per garantire un'esperienza sensoriale soddisfacente, riuscendo a suscitare emozioni positive grazie all'aumento del valore esperienziale del prodotto stesso, senza trascurarne la funzionalità (Becerra, 2016). Per determinare i principali aspetti percettivi delle PS, questo lavoro si basa su tre pilastri principali (Fig. 1): casi studio di PS, la loro percezione e la progettazione di CMF. Mentre i primi due pilastri hanno permesso di identificare il campo di indagine, il design CMF, elemento fondante di SMaPT, è stato impiegato attraverso strumenti quali moodboard di parole chiave e immagini, per rappresentare nuovi scenari percettivi. Lo sviluppo della ricerca e la genesi di SMaPT hanno seguito un approccio sperimentale strutturato in due studi principali illustrati nei paragrafi successivi.

Metodologia | Il primo studio condotto (valutare la percezione della sostenibilità) è stato incentrato sull'identificazione di un immaginario comune del significato di 'sostenibilità dei materiali'. Questa fase è stata necessaria per tracciare un profilo delle caratteristiche dei materiali che suggeriscono una 'sensazione di sostenibilità' a un pubblico generico. Per raccogliere dati, raggiungendo un gruppo eterogeneo di partecipanti, è stato diffuso un modulo online anonimo, utilizzando i fogli di Google Form. Lo studio è stato suddiviso in quattro fasi principali (Fig. 2): 1) dopo una profilazione, è stato chiesto agli intervistati quale fosse la loro visione della sostenibilità in termini di sensibilità al tema e di attenzione all'acquisto dei prodotti; 2) è stata poi proposta un'immagine di diversi campioni di PS da ordinare in base al livello di sostenibilità percepito, per collegarli successivamente a ipotetiche applicazioni; 3) sono stati identificati i prodotti e i materiali più sostenibili già presenti sul mercato; 4) dopo aver visionato diversi materiali e prodotti, agli intervistati è stato chiesto, attraverso una domanda a scelta multipla, quali attributi descrivevano un materiale sostenibile. I casi studio di PS scelti per il Form sono stati selezionati in base alle loro caratteristiche estetiche, concentrandosi su esempi diversificati e controversi, per esempio

biopolimeri che simulano trasparenze tipiche di polimeri da fonti fossili.

Dopo aver definito le caratteristiche generali dei prodotti sostenibili, nel secondo studio è emersa la necessità di analizzare campioni specifici di materiale. Per poter capire come fosse la resa a schermo delle caratteristiche proprie delle PS, è stata scelta la modalità di svolgimento online con un'analisi tramite immagini descrittive dei campioni stessi (Fig. 3). I partecipanti hanno ricevuto il link a un modulo online, le istruzioni e la documentazione per il test: una cartella con le immagini di sette campioni (denominati tramite codici); un foglio con gli aggettivi da attribuire ai campioni; diverse tavole di immagini (denominate con codici) da associare agli aggettivi. Per quanto riguarda l'associazione di caratteristiche e immagini, il riferimento preso in esame è stato lo studio del MIPS di van Kesteren, Stappers e de Bruijn (2007) in cui si propone di collegare immagini e parole chiave; mentre della ricerca di Karana (2012) sono stati adottati i criteri descrittivi 'naturale' e 'di qualità'. Per quanto riguarda l'analisi sensoriale, i riferimenti sono stati presi dallo strumento Ma2E4 (Camere and Karana, 2018) e dalla ricerca sulla percezione delle caratteristiche dei materiali di Zuo et alii (2001).

Per il test sono state selezionate 25 PS, principalmente bioplastiche (tra il 60-100% bio-based), plastiche da materiali riciclati al 100% (fatta eccezione per un caso al 50%), o misti tra queste due categorie (Tab. 1). Quindi i materiali sono stati mappati e organizzati (Figg. 4, 5) rielaborando il modello di Bahrudin, Aurisicchio e Baxter (2017). Il test è stato suddiviso in cinque fasi principali (Fig. 6): 1) profilazione – sebbene l'analisi fosse anonima, sono stati richiesti l'età, il sesso, il genere, la formazione, la nazionalità e la sensibilità alle questioni ambientali; 2) valutazione generale – per ogni campione sono state ripetute le stesse sezioni, chiedendo come prima domanda di identificare il materiale e la possibile applicazione; 3) descrizione – è stato chiesto di attribuire quattro aggettivi al materiale analizzato, scelti dall'elenco fornito o proposti dai partecipanti e poi di associare ai quattro aggettivi altrettante immagini che meglio rappresentavano le sensazioni percepite; 4) valutazione della sostenibilità – è stato chiesto di attribuire un punteggio al valore della naturalezza e della sostenibilità percepite, assegnando una scala Likert da 0 a 10; 5) valutazione sensoriale – è stato chiesto di valutare le caratteristiche visive, opaco-trasparente, pattern/fibre-colore tinta unita, non riflettente-riflettente, opaco-lucido, assegnando una scala Likert da 0 a 10. Il tempo medio stimato per lo svolgimento del test è stato di circa 1 ora; dopo il test gli attributi sono stati suddivisi e organizzati secondo le categorie descrittive (Fig. 7) elaborate da Karana (2009) e riprese da Bahrudin e Aurisicchio (2018).

L'applicazione di tale metodologia ha permesso di identificare elementi fondamentali per la creazione di SMaPT. Grazie al primo studio sono state rintracciate informazioni generali riguardanti la percezione delle PS; nel secondo studio, sono stati identificati aggettivi e immagini associati ai campioni selezionati di PS, correlazioni ricorrenti tra percezione di sostenibilità e naturalezza associate a immagini di campioni di PS, attributi legati alla percezione visiva delle PS.

Risultati | Nel primo studio l'eterogeneo campione di intervistati ha fornito 133 risposte (Fig. 8) dimostrando attenzione per le tematiche ambientali. Su una scala da 1 (per niente) a 5 (molto), il 97,8% ha espresso un livello di interesse medio-alto alle tematiche di sostenibilità sebbene gli intervistati abbiano ammesso che non sempre prestano attenzione all'origine dei prodotti che acquistano (il 22,6% non è attento e più della metà 51,9% lo è solo talvolta). Riguardo al significato di 'materiali naturali', l'attenzione si è concentrata su tre aspetti principali: origine, processo e dismissione. Le risposte relative al significato di 'materiale sosteni-

bile', invece, si sono divise su diversi temi, come si può vedere dal grafico in Figura 9.

Dalla lettura dei risultati della seconda fase emerge che i materiali grezzi e lattiginosi vengono scelti per il loro aspetto sostenibile; nell'ordine di preferenza seguono i campioni che presentano ruvidità, segni o inclusioni, colori neutri o trasparenze poco definite, mentre i meno scelti sono i materiali lisci con colori artificiali. Nella scelta dei possibili impieghi dei materiali selezionati (prodotto durevole, prodotto monouso, packaging di lusso), nel caso di applicazioni ad alte prestazioni sono stati associati materiali percepiti come poco sostenibili.

Nella terza fase agli intervistati sono stati sottoposti prodotti e materiali, presenti sul mercato, realizzati con PS: quelli percettivamente più sostenibili risultano avere inclusioni, superfici ruvide, irregolarità nella colorazione e fibre naturali. Infine nell'ultima fase è stata valutata la percezione di un materiale sostenibile: la prima caratteristica scelta è il colore naturale, seguita dalla presenza di fibre e irregolarità in termini di colorazione e di superfici.

In generale è possibile affermare che dal sondaggio è emersa una scarsa distinzione tra i significati di 'naturale' e 'sostenibile'. Inoltre, confrontando le risposte della medesima domanda posta all'inizio e alla fine dello studio, ovvero 'Secondo te, quali caratteristiche ha, al primo sguardo, un materiale sostenibile?', mentre nella prima risposta libera è stata data maggiore importanza all'esperienza del tatto, nell'ultima, avendo una domanda a risposta multipla, gli intervistati hanno scelto svariate caratteristiche con una maggiore consapevolezza derivante dall'osservazione delle immagini. Le fibre e le inclusioni all'interno del materiale hanno assunto maggiore importanza, mentre la rugosità, l'irregolarità del colore e della superficie, i colori neutri e chiari sono stati riconfermati come caratteristiche che rendono un materiale apparentemente più sostenibile. Il test ha verificato i risultati dello studio di Karana (2012) sulla valutazione dei concetti di 'naturale' e 'alta qualità', sebbene il campione di popolazione, l'area geografica, la cultura e le diverse sensibilità siano differenti.

Nel secondo studio sono stati coinvolti 30 designer di diversa provenienza e nazionalità selezionati all'interno dei Corsi di Laurea di Design&Engineering, PSSD e Integrated Product Design del Politecnico di Milano. I dati raccolti per ogni campione sono stati elaborati calcolando le medie e la deviazione standard per le valutazioni numeriche sulla scala Likert e combinando le sezioni degli aggettivi e delle immagini. Dall'analisi dei risultati ottenuti nella fase di associazione di aggettivi e immagini si rileva come la scelta di queste ultime sia stata coerente con l'attributo corrispondente e in linea con il materiale a cui si riferivano.

A questo proposito, va notato che le relazioni attributo-immagine hanno subito delle variazioni da un campione all'altro perché presumibilmente producevano sensazioni e significati diversi in base al materiale analizzato. È stato quindi possibile procedere alla suddivisione degli attributi di ciascun campione nei sei gruppi principali di categorie descrittive; rispetto a Barhudin e Aurisicchio (2018), la 'descrizione dell'uso' non è stata considerata in quanto si trattava solo di un'analisi dei materiali. Dall'analisi del test è emerso anche che le caratteristiche utilizzate per descrivere i materiali sono prevalentemente tecniche; seguono le caratteristiche sensoriali, espressive, emotive, associative e di produzione (Fig. 10). Tuttavia nei casi di materiali con un'estetica marcata si è fatto leva sull'aspetto sensoriale.

Sistematizzando tutti i dati è stato possibile generare delle schede percettive del materiale non solo con scale che definiscono alcuni aspetti sensoriali, ma attraverso vere e proprie tabelle di immagini e parole chiave (Fig. 11). Il secondo test ha poi consentito di approfondire la percezione delle PS di diversa origine con risultati omogenei e allineati alle aspettative, grazie alla natura del campione degli intervistati (designer) consapevole

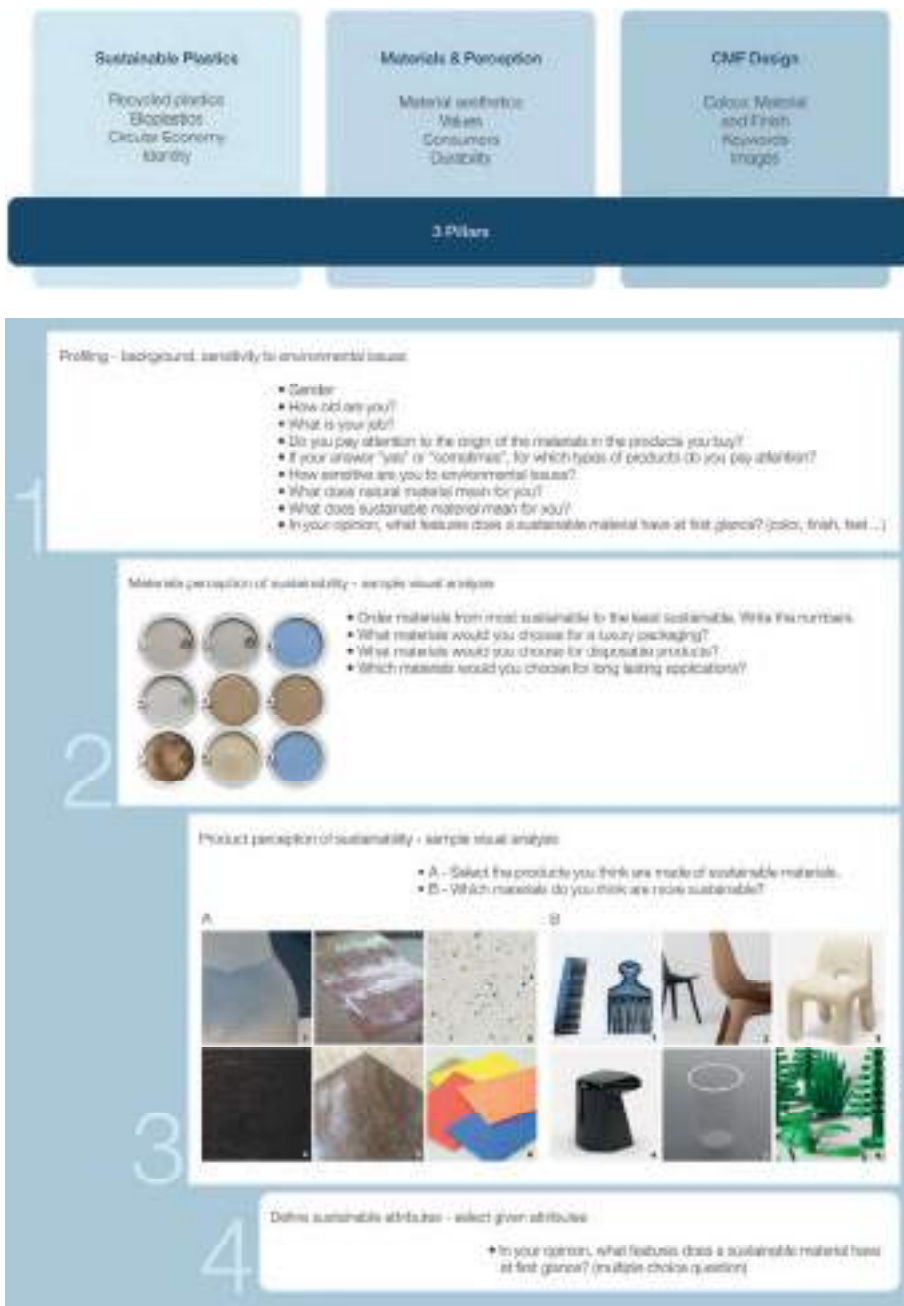


Fig. 1 | The three pillars (credit: the Authors, 2022).

Fig. 2 | The first test's sections (credit: image processed by the Authors based on material samples pictures retrieved on materialdistrict.com, 2020).

delle variabili in gioco. Dallo studio è emerso che per i materiali con un'estetica simile alla plastica tradizionale è più difficile valutare la sostenibilità, così come spaziare nell'attribuzione di caratteristiche specifiche; tuttavia, quando i materiali hanno un aspetto particolare, più definito, soprattutto in presenza di fibre o inclusioni, l'irregolarità della superficie e della trama si riconferma come comunicatore di sostenibilità e naturalezza.

Genesi di uno strumento | Combinando i risultati percettivi ottenuti dai due diversi studi e le schede con le immagini e le parole chiave derivanti solamente dal secondo, è stato possibile delineare lo strumento SMaPT, utile per progettare l'aspetto estetico-sensoriale delle PS. La sfida nasce dalla decisione di catalogare materiali che non hanno ancora una vera e propria identità percettiva e fornire una nuova tipologia di analisi delle PS che permetta di esprimere al meglio le loro potenzialità. La raccolta di immagini e parole chiave permette di selezionare materiali a partire da suggestioni e impressioni, ricondotte principalmente al senso della vista.

La selezione dà vita a un catalogo che, combinando i dati tecnici forniti dalle aziende con quelli derivanti dal secondo studio, propone una nuova visione del materiale. All'interno della scheda materiale viene data la possibilità di esplorare gli attributi relativi a finiture e colori, provenienti da elaborazioni dal primo studio (Fig. 12). SMaPT si rivolge principalmente ai progettisti per orientarli nella scelta di PS: lo strumento è concepito come una piattaforma interattiva online che mira a facilitare le attività di progettazione del designer così come la comunicazione tra progettista e committente, ispirando nuovi possibili scenari. SMaPT offre un metodo di selezione dei materiali basato in primis sulla percezione estetica e sensoriale espressa da immagini e parole chiave. Le raccolte di dati sono state fondamentali per la genesi di questo strumento che permette di consigliare e offrire linee guida nella progettazione con i materiali selezionati.

Dopo la scelta di immagini e parole chiave viene generata una prima moodboard che guida la selezione dei materiali corrispondenti alle immagini e parole scelte. È possibile quindi valutare ogni materiale attraverso delle schede in grado di fornire una panoramica: non solo informazioni percettive, ma anche relative all'origine, smaltimento, possibili applicazioni, processi e alcuni dati tecnici (Fig. 13). L'output finale dello strumento è una nuova moodboard assemblata ad hoc per il materiale scelto e per il progetto (Fig. 14). Ad oggi, per permettere un corretto funzionamento del tool sono stati analizzati e archiviati dagli autori 25 materiali, in un database che può essere continuamente ampliato e aggiornato per garantire affidabilità e varietà a SMaPT. Lo strumento, ancora in fase di validazione, è stato testato nel suo utilizzo tramite trial preliminari (Fig. 15) sia in ambito accademico che aziendale², traducendone i punti principali in attività. I prossimi step di sviluppo prevedono la finalizzazione dell'applicativo in forma digitale in modo da poterne testare l'efficacia in via definitiva.

Conclusioni | I materiali utilizzati nei nuovi prodotti sostenibili nascono dopo anni di ricerca e sviluppo affinché le loro prestazioni raggiungano e infine

Sample 20



Fig. 3 | Sample descriptive table (credit: the Authors, 2020).

superino quelle tradizionali; tuttavia, la loro 'identità estetica e sensoriale' risulta ancora poco esplorata. In questo frangente il designer, con la sua multidisciplinarietà, è in grado di avere una visione olistica del prodotto considerando l'aspetto estetico-sensoriale del materiale rispetto al contesto e alla destinazione d'uso. La presente ricerca propone uno strumento che parte proprio dall'aspetto estetico-sensoriale per arrivare alla selezione di nuove soluzioni materiche tramite un approccio ispirazionale per i progettisti. SMaPT permette di tradurre tramite il senso della vista ulteriori sensazioni, come quelle derivanti da tatto o olfatto grazie alla loro rappresentazione in combinazioni di parole chiave e immagini. La costruzione di una moodboard permette di suscitare emozioni e sensazioni a partire da immagini e offre un primo tentativo di definire come un materiale possa essere reso attraverso un supporto digitale.

La ricerca e la raccolta dei dati effettuata per SMaPT è stata pensata per essere replicabile e implementabile. Tuttavia, alcune limitazioni del tool allo stato attuale devono essere menzionate: in primo luogo, nonostante la semplicità di utilizzo, il tool deve essere inserito all'interno di attività guidate come workshop o esercitazioni; la sua trasferibilità in forma di strumento online che si rivolge a un pubblico più ampio necessita di ulteriori sessioni validanti. In secondo luogo si potrebbe testare la congruenza tra l'analisi estetico-sensoriale di alcuni materiali, svolta tramite SMaPT, e quella effettuata sugli stessi in forma analogica, tramite interazioni dirette con i campioni di materiale o attraverso altri strumenti esistenti.

Le implicazioni dello studio illustrato ricadono nella promozione all'utilizzo consapevole delle PS nel progetto, considerandone non solo le proprietà tecniche ma anche quelle percettive. Ulteriori attività per determinare le potenzialità di SMaPT prevedono l'ampliamento del numero di materiali nel database del tool, così come ulteriori test a valle della definitiva programmazione della piattaforma digitale prevista. La possibilità di pro-

gettare e condividere aspetti percettivi dei materiali sostenibili tramite uno strumento fruibile online può essere un passo verso la definizione di nuovi scenari e la creazione di un linguaggio condiviso per l'estetica delle plastiche sostenibili.

At a time of transition towards new production models, Design plays a central role (Antonelli, 2008) by introducing new consumption models, finding new material solutions or enhancing the digital dimension. To date, we are witnessing a revolution in design materials: designers and companies are constantly looking for 'more sustainable' alternatives compared to traditional ones, investigating bio-based, biodegradable and/or compostable materials originating from waste, recycling, etc. (Bahrudin and Aurisicchio, 2018; Rognoli et alii, 2015). The rapid development and market entry of these new materials has demonstrated notable industrial readiness, and yet has also generated a sensory-aesthetic identity 'crisis', resulting in confusion and contradictions in consumer perception.

The present study is set within the framework of design for the circular economy, exploring sustainability from a materials-oriented perspective and reflecting on the role of the designer; it was carried out in continuity with the Making Materials¹ group's research on innovative design (Papile et alii, 2021; Papile, Marinelli and Del Curto, 2020). A large part of daily activities has moved online as a result of the demands caused by smart working and the speed of technological evolution, further accelerated by the Covid-19 pandemic, and this has changed the way people interact and acquire knowledge (Almeida, Duarte Santos and Monteiro, 2020).

Images have become the main vehicle of information and the sense of sight is given the responsibility of perceiving and transferring emotions and sensations. While there have been some

Samples	Name	Company	Description	Source
1	Arboblend 3180x	Tecnaró	Composite	100% biobased
2	Arboblend 3196v	Tecnaró	Composite	100% biobased
3	Biofoam	Sybra-Sulpol	PLA	100% biobased
4	Biograde C 5509 CL	Fkur	Cellulose composite	60% biobased
5	Kareline PLMS 6040	Plasthill Oy	Fiber reinforced PLA	100% biobased
6	Dryflex SC 50A82G1N A	Hexpol	TPE	80% biobased
7	Apigo Bio	Trinseo - Api Plast	TPO	68% biobased
8	Vestamid Terra DS22	Evonik	Polyamide	100% biobased
9	Fluidsolids	Fluidsolids	Composite	100% biobased
10	Arboform L V4	Tecnaró	Composite	100% biobased
11	Treeplast	PE Design & Engineering B.V.	Fiber reinforced PLA	100% biobased
12	WPC Bio PLA	Jelu Plast	Fiber reinforced PLA	100% biobased
13	WPC Bio PE	Jelu Plast	Fiber reinforced PE	100% biobased
14	Paperstone	Evostone	Composite	100% biobased
15	Arbofill Kokos	Tecnaró	Composite	80% biobased
16	Agriplast NFPP 3070	Biowert	Composite	30% biobased – 70% recycled
17	Agriplast NFPP 5050	Biowert	Composite	50% biobased – 50% recycled
18	Flat PP	Biowert	Composite	50% recycled biobased fiber – 50% recycled
19	PET/PETCopolyester	Smile	PET/ PETCOPOLYESTER	100% recycled
20	PET/PETCopolyester	Smile	PET/ PETCOPOLYESTER	100% recycled
21	PET/PETCopolyester	Smile	PET/ PETCOPOLYESTER	100% recycled
22	HIPS	Smile	HIPS	100% recycled
23	HDPE	Smile	HDPE	100% recycled
24	HDPE	Smile	HDPE	100% recycled
25	Durat RAL	Durat	Polyester	50% recycled

Tab. 1 | Samples studio 2.

experimental studies on possible haptic displays (Shin, Cho and Lee, 2020; Chang and Nesbitt, 2006), it is still not possible to effectively ‘enjoy’ material characteristics in digital mode. The present research aims is to investigate how material attributes, which to date appear to be strongly related to interaction with physical material samples, can be translated digitally. The development of

SMaPT (Sustainable Materials and Perception Tool) directly impacts material selection and project activities, where progressive digitalization has made it increasingly difficult to communicate characteristics related to senses other than sight.

The materials examined for this study are ‘sustainable plastics’ (SPs), i.e., recycled plastics and bioplastics, which emerged as a response to

European policies regarding the replacement of fossil plastics (European Parliament, 2019). SPs, both in origin and in properties and processes, often have unique sensory qualities (Zafarmand, Sugiyama and Watanabe, 2003). Due to the growing consumer interest in sustainability, companies have also begun to strategically leverage the inherent characteristics of sustainable materials as

marketing assets. However, it is important to clarify that, in the circular economy perspective, it is not merely the product or material that should be considered sustainable, but the entire system revolving around it (Gardien et alii, 2014). Therefore, it becomes crucial to understand how SPs are perceived by consumers and what doubts, uncertainties and unsustainable behaviours they may cause (Santi, Elegir and Del Curto, 2020).

By defining the identity of SPs, products can also be implemented on the sensory-expressive dimension to induce sustainable practices. Achieving this is a complex process since only some sensory aspects of materials can be easily measured; other properties are the combination of processes through which users experience a product (Karana, 2009). Several studies (Balaji, Raghavan and Jha, 2011; Spence and Gallace, 2011; Wilkes et alii, 2016; Zuo et alii, 2016) have addressed this issue, analysing how materials communicate their properties and how sensory perception influences design. The elements that come into play are complex, both because of the exclusivity of material characteristics and also because of the relationship between evoked sensations and context dependence (Fleming, 2014). The designer can select and shape the aesthetic-sensory attributes of materials, thus also designing the user's perception in relation to the project's intent (Bahrudin and Aurisicchio, 2018).

CMF design (Colour, Material and Finish), on the other hand, supports communicative balance to ensure a satisfying sensory experience, evoking positive emotions by increasing the experiential value of the product itself, without neglecting its functionality (Becerra, 2016). This research relies on three main pillars (Fig. 1) with the aim of determining the main perceptual aspects of SPs, i.e.: case studies regarding SPs, their perception and the design of CMFs. While the first two pillars enabled the identification of the field of inquiry, CMF design, the founding element of SMaPT, was applied by tools such as keywords, moodboards and images to represent new perceptual scenarios. The research development and genesis of SMaPT followed an experimental approach organised in two main studies as illustrated in the following paragraphs.

Methodology | The first study (assessing the perception of sustainability) focused on identifying a common notion of the meaning of 'sustainability of materials'. This phase was required to profile the characteristics of materials that suggest a 'feeling of sustainability' to the general public. The data was gathered by using an anonymous Google Forms online survey, thus reaching a heterogeneous group of participants. The study was divided into four main phases (Fig. 2): 1) after profiling, the participants were asked to express their view of sustainability in terms of sensitivity to the issue and attention to purchasing products; 2) the participants were then asked to sort images of different SP samples according to the perceived level of sustainability, to be subsequently linked to hypothetical applications; 3) the most sustainable products and materials already on the market were identified; 4) after viewing different materials and products, the participants were asked to identify, through a multiple-choice questionnaire, the attributes which described a sustainable material.

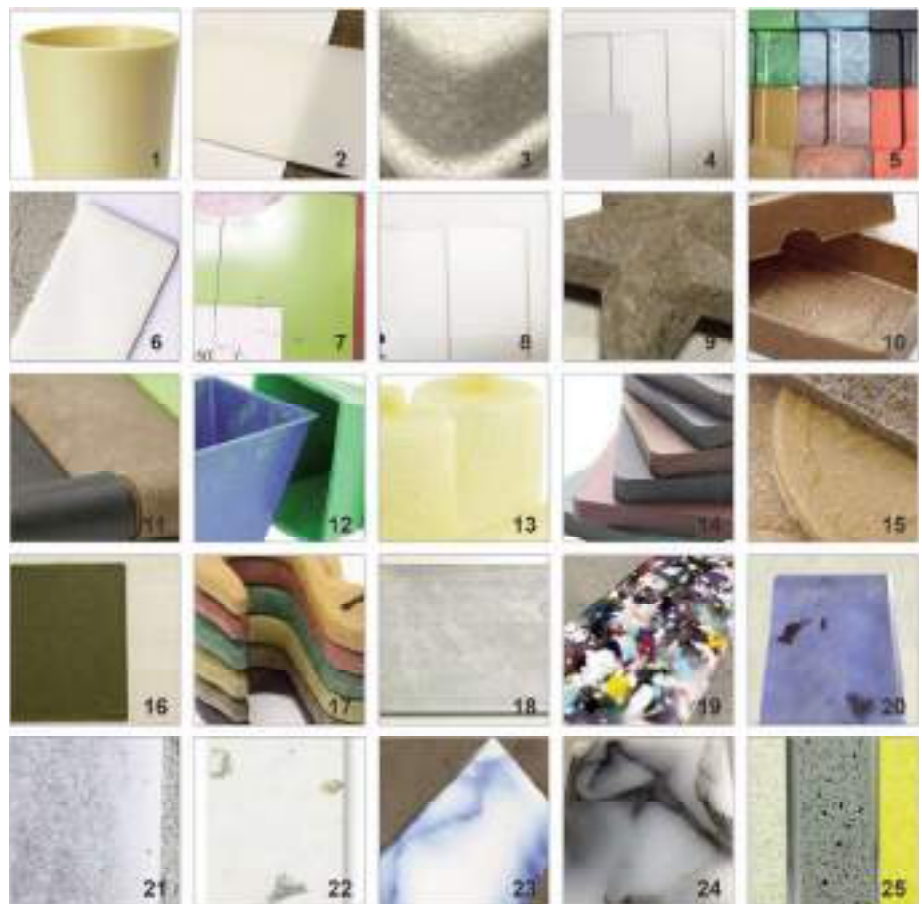


Fig. 4 | Readapted Bahrudin's scheme: The samples were organised according to the characteristics shown (credit: the Authors, 2020).

Fig. 5 | The 25 samples analysed (credit: the Authors, 2020).

Fig. 6 | The activities of the designers in the second test (credit: the Authors, 2020).

The SP case studies chosen for the Form were selected based on their aesthetic characteristics, focusing on diverse and controversial examples, e.g., biopolymers simulating transparencies typical

of polymers originating from fossil sources. Following the definition of the general characteristics of sustainable products, the second study revealed the need to analyse specific material samples. An

online analysis mode using descriptive images of the samples themselves was chosen in order to understand the onscreen rendering of SP characteristics (Fig. 3). The participants received a link to an online form, as well as instructions and documentation for the test: a folder with the images of seven samples (identified by codes); a sheet with the adjectives to be attributed to the samples; several tables of images (also identified by codes) to be associated with the adjectives. Concerning the association of characteristics and images, the MiPS study by van Kesteren, Stappers and de Bruijn (2007) which focused on the connection between images and keywords, was used as a reference; the descriptive criteria for 'natural' and 'quality' were adopted from Karana (2012). With regard to sensory analysis, references were taken from the Ma2E4 tool (Camere and Karana, 2018) and the research on the perception of material characteristics conducted by Zuo et alii (2001).

In total, 25 SPs were selected for the test, mainly bioplastics (between 60-100% bio-based), plastics from 100% recycled materials (except for one case at 50%) or mixed between these two categories (Tab. 1). The materials were then mapped and organised (Figg. 4, 5) by reworking the model developed by Bahrudin, Aurisicchio and Baxter (2017). The test was divided into five main phases (Fig. 6): 1) profiling – although the analysis was anonymous, it considered age, sex, gender, education, nationality and sensitivity to environmental issues; 2) general assessment – the same sections were repeated for each sample, with the first question regarding the identification of the material and its possible application; 3) description – participants were asked to assign four adjectives to the analysed material, selected freely or from a provided list, and then to associate the four adjectives with as many images that best represented the perceived feelings; 4) sustainability assessment – participants were asked to score the value of perceived naturalness and sustainability, assigning a Likert scale from 0 to 10; 5) sensory assessment – participants were asked to rate the visual characteristics, matt-transparent, pattern/solid colour fibres, non-reflective-reflective, matt-shiny, assigning a Likert scale from 0 to 10. The estimated average time for conducting the test was approximately 1 hour; after the test, the attributes were divided and organised according to the descriptive categories (Fig. 7) elaborated by Karana (2009) and reiterated by Bahrudin and Aurisicchio (2018).

The application of this methodology allowed the identification of key elements for the creation of SMaPTs. The first study tracked general information regarding the perception of SPs, while the second study determined adjectives and images associated with selected SP samples, recurring correlations between perceptions of sustainability and naturalness associated with images of SP samples, and attributes related to the visual perception of SPs.

Results | The heterogeneous sample of participants in the first study provided 133 answers (Fig. 8), demonstrating attention to environmental issues. On a scale of 1 (not at all) to 5 (very much), 97.8% of participants expressed a medium to high level of interest in sustainability issues, admitting however that attention is not always paid to

Use description	Refers to specific product or unique environment in which a material is employed for a particular purpose. (e.g. handle for organic farm)
Manufacturing process	Expresses the applied production or treatment techniques for the approved product. (e.g. glazed)
Technical description	Refers to quantifiable technical properties, which mostly derive from the chemical structure of the material. (e.g. strength)
Sensorial description	Making reference to impressions between materials and users through the five senses, sight, touch, smell, taste and hearing. (e.g. smooth)
Emotional description	The subjective feelings of people towards a material, often automatically and unconsciously. (e.g. surprise)
Associative description	Association to another item or context that requires retrieval from memory and past experience. (e.g. chess tile)
Expressive semantic description	The kinds of meanings we attribute to materials after the initial sensorial input. (e.g. oak)

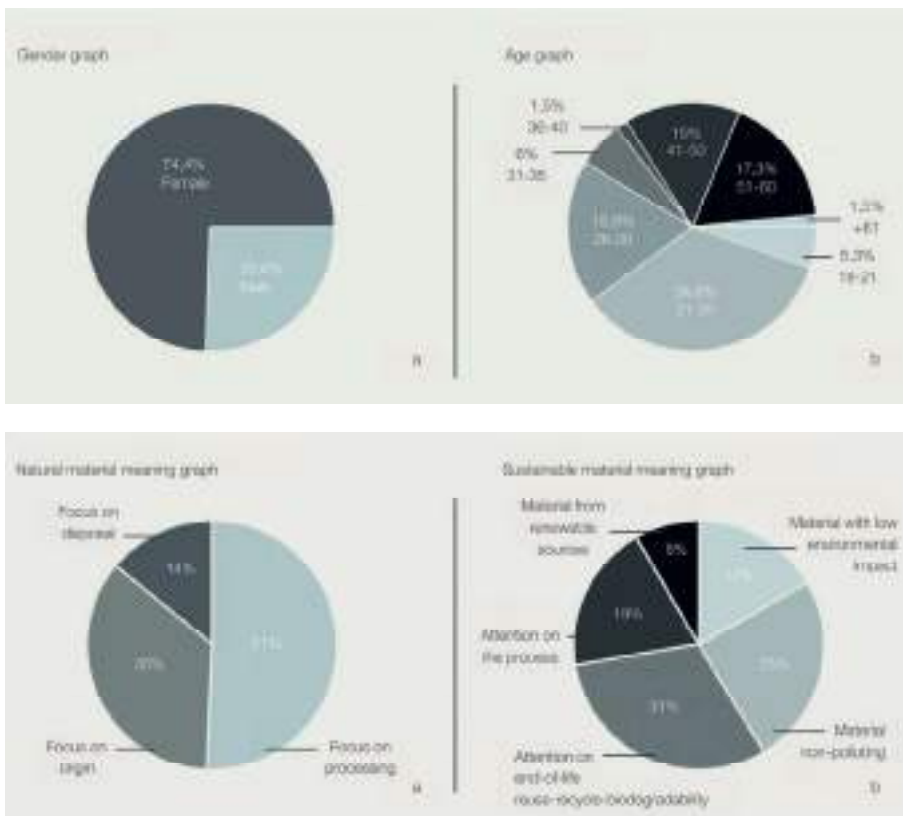


Fig. 7 | Karana descriptive categories reported by Bahrudin (credit: image processed by the Authors based on Bahrudin and Aurisicchio, 2018).

Fig. 8 | Gender graph and Age graph (credit: the Authors, 2021).

Fig. 9 | Answers' graphs about natural and sustainable material meaning (credit: the Authors, 2021).

Next page

Fig. 10 | Results of attribute analysis according to descriptive categories (credit: the Authors, 2021).

Fig. 11 | Example of a results sheet (credit: the Authors, 2021).

Fig. 12 | Roadmap for the analysis and creation of SMaPT (credit: the Authors, 2022).

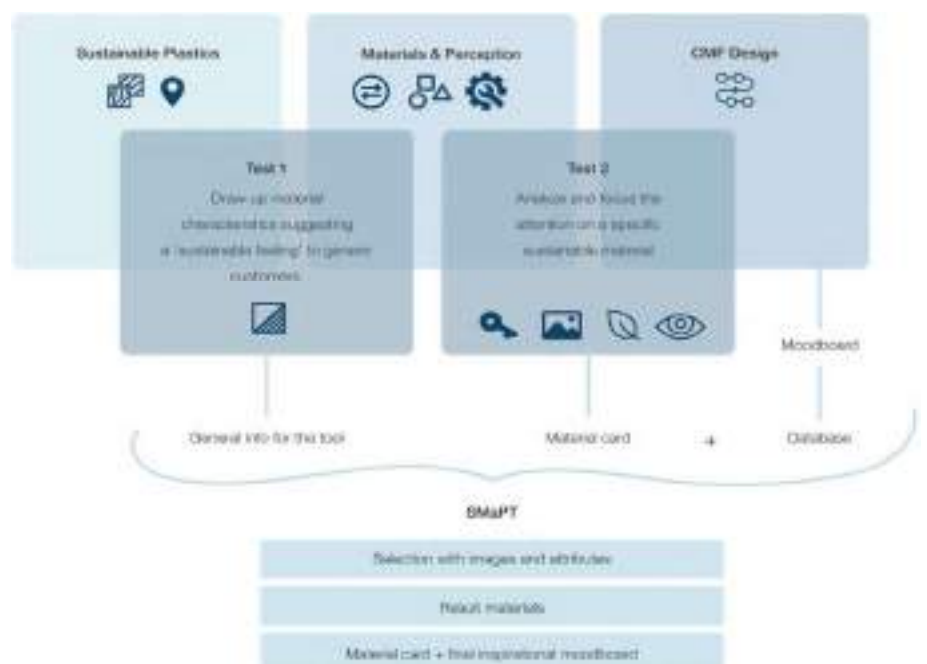
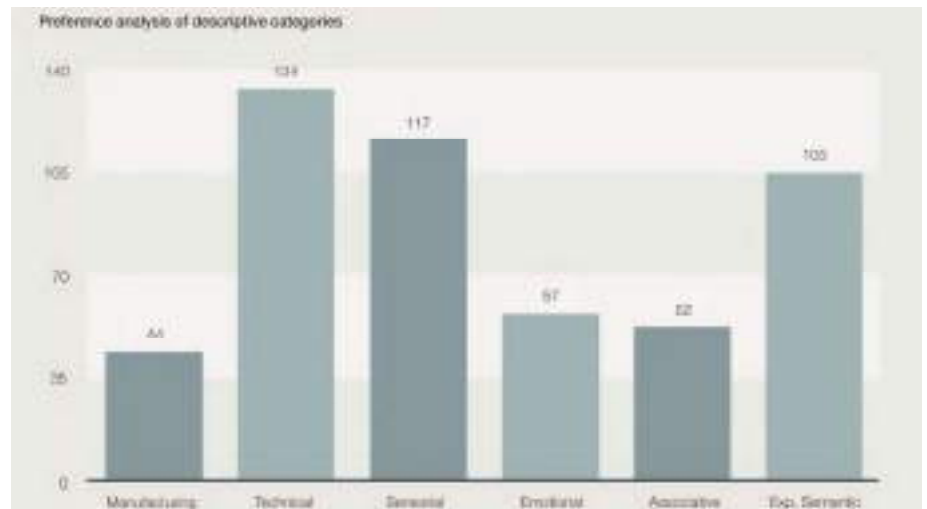
the origin of purchased products (22.6% of participants are not attentive and 51.9% – more than half – are only sometimes attentive). Regarding the meaning of 'natural materials', the focus was on three main aspects: origin, process and disposal. On the other hand, the answers concerning the meaning of 'sustainable material' were divided over several themes, as can be seen from the graph in Figure 9.

The results of the second phase show that raw and milky-looking materials are chosen for their sustainable appearance; in order of preference, samples with roughness, marks or inclusions, neutral colours or poorly defined transparencies follow, while the least chosen are smooth materials in artificial colours. When identifying the possible uses of the selected materials (durable product, disposable product, luxury packaging), high-performance applications were associated with materials perceived as not very sustainable. In the third phase, products and materials already on the market and made with SPs were presented to participants: those perceptually most sustainable were found to have inclusions, rough surfaces, irregularities in colouring and natural fibres. Finally, the last phase assessed the perception of a sustainable material: the most valued characteristic was the natural colour, followed by the presence of fibres and irregularities in terms of colouring and surfaces.

In general, the survey revealed a negligible distinction between 'natural' and 'sustainable'. Furthermore, comparing the answers to the same question asked both at the beginning and end of the study, first in open-ended form and after as a multiple-choice question (namely: 'In your opinion, what characteristics does a sustainable material have at first glance?'), showed that in the former case more importance was given to the experience of touch, whereas in the latter case, the participants selected various characteristics showing greater awareness as a result of observing the images. Fibres and inclusions within the material assumed greater importance, while roughness, colour and surface irregularity, neutral and light colours were reconfirmed as characteristics that make a material seemingly more sustainable. The test verified the results of Karana's (2012) study on the evaluation of the concepts of 'natural' and 'high quality', notwithstanding the different population samples, geographical areas, cultures and sensitivities.

The second study involved 30 designers from different backgrounds and nationalities selected within the degree courses of Design&Engineering, PSSD and Integrated Product Design of the Politecnico di Milano. The data collected for each sample was processed by calculating the averages and standard deviation for the numerical ratings on the Likert scale and combining the adjectives and images sections. The analysis of the results obtained by combining adjectives and images shows how the choice of the images was consistent with the corresponding attribute, and in line with the material to which they referred.

In this regard, it should be noted that the attribute-image relations varied from sample to sample because they presumably produced different sensations and meanings depending on the material analysed. It was, therefore, possible to divide the attributes of each sample into the six



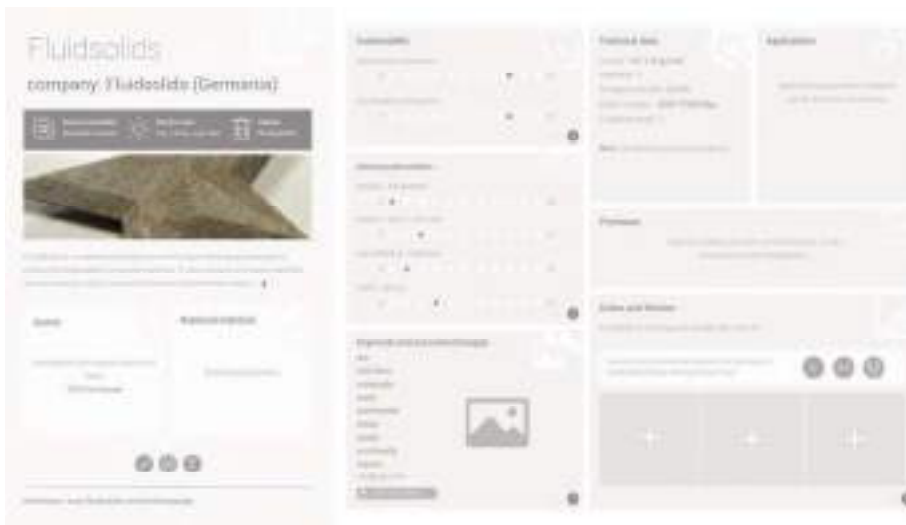


Fig. 13 | Example of a material sheet (credit: the Authors, 2021).

Fig. 14 | Example of a final moodboard (credit: the Authors, 2021).

Fig. 15 | Moodboard resulting from the trial (credit: the Authors, 2021).

main groups of descriptive categories; compared to Barhudin e Aurisicchio (2018), the 'description of use' was not considered as this was only a material analysis. The test analysis also showed that the characteristics used to describe materials are

predominantly technical; this is followed by sensory, expressive, emotional, associative and production characteristics (Fig. 10). However, in the case of materials with a pronounced aesthetic, the sensory aspect was emphasised.

Material perception charts were generated by systemizing the collected data, which not only included scales defining specific sensory aspects, but also actual tables of images and keywords (Fig. 11). The second test then made it possible to investigate the perception of SPs of different origins with results that were both homogeneous and in line with expectations, due to the nature of the sample of participants (designers), conscious of the variables involved. The study showed that for materials with an aesthetic similar to traditional plastics, it is more difficult to assess sustainability and to vary in the attribution of specific characteristics; however, when materials have a particular, more defined appearance, especially in the presence of fibres or inclusions, the irregularity of the surface and texture is reconfirmed as a communicator of sustainability and naturalness.

The genesis of a tool | The SMApT tool, useful to design the aesthetic-sensorial aspect of SPs, was devised by combining the perceptual results obtained from the two studies, and the data sheets with images and keywords obtained only from the second study. The challenge stems from the decision to catalogue materials that do not yet have a true perceptual identity and to provide a new type of analysis of SPs that enables them to express their full potential. The collection of images and keywords makes it possible to select materials based on suggestions and impressions, primarily related to the sense of sight.

This selection generates a catalogue that, by combining the technical data provided by the companies with that derived from the second study, offers a new view of the material. The material data sheet enables the possibility to explore the attributes related to finishes and colours, resulting from elaborations of the first study (Fig. 12). SMApT is primarily aimed at designers to guide them in their selection of SPs: the tool is conceived as an interactive online platform that aims to facilitate the designer's project activities as well as the communication between designer and client, inspiring new possible scenarios. SMApT offers a material selection method based primarily on the aesthetic and sensorial perception expressed by images and keywords. The data collection phases were fundamental to the genesis of this tool, which allows the designer to advise and offer guidelines when designing with the selected materials.

Following the choice of images and keywords, an initial moodboard is generated to guide the selection of materials corresponding to the chosen images and words. It is then possible to evaluate each material utilizing data sheets that provide an overview containing not only perceptual information but also information regarding the origin, disposal, possible applications, processes and some technical data (Fig. 13). The final output of the tool is a new moodboard assembled ad hoc for the chosen material and the project (Fig. 14). To enable the correct functioning of the SMApT tool, to date 25 materials have been analysed and archived by the authors into a database that can be continuously expanded and updated for reliability and variety. The tool, which is still in its validation phase, has been tested for use in preliminary trials (Fig. 15) both in academic and corporate settings², and its main points have been