

## ARTICLE INFO

Received	08 March 2026
Revised	12 April 2026
Accepted	13 April 2026
Published	30 June 2026

## PROGETTARE CON LO YAN-LIPAO PER L'INNOVAZIONE NELL'INDUSTRIA 5.0

### DESIGNING WITH YAN-LIPAO FOR INNOVATION IN INDUSTRY 5.0

Rewat Suksikarn

#### ABSTRACT

L'articolo indaga l'integrazione tra materiali di origine biologica locali, saperi artigianali tradizionali e design industriale nella prospettiva dell'Industria 5.0. Per superare la frammentazione tra sperimentazione materica, conoscenza artigianale e sviluppo del prodotto, la ricerca propone l'Hybrid Craft-Industry Innovation Framework e lo verifica attraverso un processo di Material-Driven Co-Creative Design applicato allo 'yan-lipao', materiale tradizionale della Thailandia meridionale. La metodologia impiegata combina caratterizzazione del materiale, workshop di co-progettazione, modellazione digitale e realizzazioni di quattro prototipi al fine di verificare la versatilità dello 'yan-lipao', la trasferibilità delle tecniche di intreccio a prodotti contemporanei e il valore della collaborazione tra sapere artigianale e strumenti progettuali. I risultati mostrano che conoscenze locali, sperimentazione materica e co-progettazione possono sostenere prodotti sostenibili, radicati nel contesto e coerenti con filiere inclusive. Il contributo offre una base replicabile per ricerche su materiali sostenibili, artigianato e innovazione industriale.

This article investigates the integration of local bio-based materials, traditional craft knowledge, and industrial design from the perspective of Industry 5.0. To address the fragmentation between material experimentation, craft knowledge, and product development, the research proposes the Hybrid Craft-Industry Innovation Framework and tests it through a Material-Driven Co-Creative Design process applied to 'yan-lipao', a traditional material from Southern Thailand. The methodology combines material characterisation, co-design workshops, digital modelling, and the development of four prototypes in order to assess the versatility of 'yan-lipao', the transferability of weaving techniques to contemporary products, and the value of collaboration between craft knowledge and design tools. The results show that local knowledge, material experimentation, and co-design can support sustainable products that are contextually rooted and aligned with inclusive supply chains. The contribution offers a replicable basis for further research on sustainable materials, craft, and industrial innovation.

#### KEYWORDS

design orientato ai materiali, design industriale, industria 5.0, materiali a base biologica, integrazione artigianato-industria

material-driven design, industrial design, industry 5.0, bio-based materials, craft-industry integration



**Rewat Suksikarn** is an Associate Professor of Industrial Design at Walailak University (Thailand) and a Researcher at the Center of Geosocial and Cultural Research for Sustainable Development. With over twenty years of experience in industrial design and sustainable product development, his research focuses on material-driven design innovation and the integration of traditional craft knowledge into contemporary industrial design. E-mail: suksikarn@gmail.com

La transizione verso l'Industria 5.0 rappresenta un passaggio rilevante nel paradigma della produzione industriale contemporanea poiché supera una visione centrata esclusivamente sull'efficienza dell'automazione, orientandosi verso sistemi produttivi centrati sulla persona, sostenibili e resilienti. In questo scenario le discipline del Design assumono un ruolo strategico di mediazione tra l'innovazione tecnologica, la responsabilità ambientale e i valori socioculturali. Negli ultimi anni i materiali di origine biologica hanno acquisito una crescente centralità come alternative sostenibili ai materiali industriali convenzionali, in quanto contribuiscono alle strategie di economia circolare, riducono la dipendenza da risorse non rinnovabili e rafforzano le filiere di approvvigionamento locali; ma nonostante tali potenzialità il loro impiego nei processi di sviluppo del prodotto industriale resta ancora limitato.

In questo quadro le pratiche artigianali tradizionali costituiscono una fonte di conoscenza particolarmente significativa, sebbene spesso marginalizzata, in merito al comportamento dei materiali, alle tecniche di lavorazione e all'uso delle risorse ecologiche locali. Gli artigiani custodiscono infatti un sapere tacito sedimentato nel tempo, maturato attraverso generazioni di pratica, che tuttavia rimane per lo più confinato in ambiti produttivi di piccola scala e raramente entra in relazione con i processi del design industriale. Lo 'yan-lipao' (*Lygodium flexuosum*) è una felce rampicante tradizionalmente impiegata nella Thailandia meridionale per la realizzazione di manufatti intrecciati; il materiale è apprezzato per la sua flessibilità, la sua resistenza e le sue specifiche qualità estetiche (Fig. 1). Gli artigiani locali hanno elaborato nel tempo tecniche di intreccio sofisticate, capaci di restituire oggetti di notevole raffinatezza formale e costruttiva (Fig. 2), ciononostante l'impiego dello 'yan-lipao' continua a rimanere prevalentemente circoscritto ai mercati dell'artigianato tradizionale.

La letteratura recente ha già riconosciuto le potenzialità dell'integrazione tra artigianato, tecnologie digitali e pratiche contemporanee di design; resta però meno sviluppata una lettura capace di connettere, in modo operativo, conoscenza artigianale, sperimentazione materica e scalabilità industriale. In risposta a questa lacuna, la ricerca introduce l'Hybrid Craft-Industry Innovation Framework (HCIF) come cornice per tradurre il sapere locale sui materiali in processi progettuali e produttivi più ampi.

Per rendere operativa questa impostazione la ricerca sviluppa un processo di Material-Driven Co-Creative Design (MDCD), che integra la sperimentazione sui materiali, la collaborazione tra studenti di design industriale e artigiani, nonché l'impiego di strumenti digitali per la progettazione. Attraverso tale approccio, lo studio analizza in che modo i materiali tradizionali, e in particolare lo 'yan-lipao', possano essere reinterpretati e tradotti in prodotti contemporanei.

La ricerca persegue tre obiettivi principali: in primo luogo definire un quadro progettuale centrato sulla persona, capace di integrare materiali di origine biologica locali e conoscenze artigianali tradizionali nel contesto dell'Industria 5.0; in secondo luogo elaborare una metodologia di progettazione co-creativa che favorisca il dialogo e la collaborazione tra designer e artigiani; infine verificare la fattibilità di tale approccio attraverso lo sviluppo di prodotti sperimentali. L'articolo si articola secondo una progressione coerente con tali obiettivi: una pri-

ma sezione ricostruisce il quadro teorico e critico di riferimento, esaminando la letteratura sull'Industria 5.0, sui materiali di origine biologica e sull'integrazione tra artigianato e design; le sezioni successive introducono l'HCIF e il processo MDCD; seguono la descrizione dell'impianto metodologico e delle procedure sperimentali, quindi la presentazione e la discussione degli esiti emersi dallo sviluppo dei prototipi. In chiusura il contributo propone una riflessione sui limiti della ricerca e sulle possibili implicazioni per il design sostenibile e per le future traiettorie dell'innovazione industriale.

L'HCIF proposto affronta questa frammentazione integrando materiali di origine biologica, conoscenze artigianali e co-progettazione in una struttura metodologica unitaria, orientata alla trasferibilità del sapere locale nei processi contemporanei di sviluppo del prodotto. Il contributo si colloca quindi nell'avanzamento del design guidato dai materiali e dell'innovazione fondata sull'artigianato, offrendo indicazioni utili alla ricerca sul design sostenibile, sul design circolare e sulle traiettorie dell'Industria 5.0.

**Stato dell'arte e background teorico** | La ricerca più recente sul design sostenibile e sull'Industria 5.0 ha progressivamente chiarito come i sistemi industriali siano sempre più chiamati a integrare innovazione tecnologica, creatività umana e responsabilità ambientale. Diversamente dai paradigmi industriali precedenti, prevalentemente orientati all'efficienza produttiva e all'automazione, l'Industria 5.0 promuove un modello di produzione centrato sulla persona e fondato sulla collaborazione tra tecnologie avanzate e conoscenza umana (European Commission, 2021; Ivanov, 2023; Huang et alii, 2022; Zizic et alii, 2022; Turner and Oyekan, 2023; Ghobakhloo et alii, 2022, 2024; Osello et alii, 2024; Yitmen et alii, 2023). In tale prospettiva i designer assumono un ruolo di particolare rilievo, poiché agiscono come mediatori tra conoscenza culturale, innovazione materica e processi di produzione industriale (Valenti, Trimarchi and Farresin, 2023; Zanoni et alii, 2024).

In questo quadro i materiali di origine biologica hanno suscitato crescente attenzione in quanto rappresentano un'alternativa sostenibile ai materiali industriali convenzionali. Il loro interesse risiede nella capacità di contribuire alle strategie di economia circolare, di ridurre la dipendenza da risorse non rinnovabili e di favorire filiere di approvvigionamento più localizzate (EMF, 2013; Geissdoerfer et alii, 2017; Bocken et alii, 2016; Kirchherr, Reike and Hekkert, 2017; Olivastri and Tagliasco, 2024; Pietroni et alii, 2023). Alcuni studi sottolineano inoltre come tali materiali possano sostenere lo sviluppo di prodotti a basso impatto ambientale e orientare pratiche progettuali più responsabili sotto il profilo ecologico (Maffei et alii, 2024; Pradhan et alii, 2024; Mopurgo, 2024). Parallelamente una parte rilevante della letteratura sui materiali sostenibili insiste sulla necessità di valutare gli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita dei materiali, così da restituire una comprensione più rigorosa e sistemica (Ashby, 2012; McDonough and Braungart, 2002).

La letteratura scientifica evidenzia altresì che l'artigianato tradizionale costituisce una fonte rilevante di conoscenze tacite relative ai materiali, ai processi produttivi e al patrimonio culturale. Le pratiche artigianali incorporano infatti una profonda comprensione del comportamento della materia,

che solo raramente viene adeguatamente formalizzata o valorizzata nella ricerca industriale (Sennett, 2008; Luckman, 2015). Tali sistemi di conoscenza assumono pertanto rilievo non soltanto sul piano della conservazione culturale, ma anche nella definizione di modelli alternativi di innovazione, radicati nei contesti locali e nelle specificità territoriali (Manzini, 2015).

Nell'ambito della ricerca sul design gli approcci progettuali orientati ai materiali hanno progressivamente riconosciuto un ruolo sempre più centrale all'esperienza e alla sperimentazione materica nella definizione dell'innovazione di prodotto (Karana, Pedgley and Rognoli, 2014; Karana et alii, 2015; Pedgley, 2014; Giaccardi and Karana, 2015). In questa linea di ricerca il materiale non è considerato soltanto come supporto tecnico o componente costruttivo, ma come fattore attivo nella generazione di qualità d'uso, valori percettivi e significati di progetto. Altri studi, dedicati alle dimensioni espressive ed esperienziali dei materiali, mostrano infatti come i designer possano generare nuove forme di senso del prodotto attraverso l'esplorazione delle proprietà materiche e delle caratteristiche sensoriali (Rognoli, 2010; Rognoli et alii, 2015; Crippa, Rognoli and Levi, 2012).

Parallelamente le metodologie partecipative e di co-progettazione si sono affermate come approcci centrali nella ricerca contemporanea sul design, ponendo al centro la collaborazione tra designer, utenti e stakeholder quale condizione per la generazione di innovazione socialmente rilevante (Sanders and Stappers, 2008; Spinuzzi, 2005; Steen, 2013; Porfirione, Ferrari Tumay and Leggiere, 2024). La ricerca sul design partecipativo ha ulteriormente messo in luce il valore della sperimentazione collaborativa e dei processi progettuali di natura democratica nell'affrontare problemi sociali complessi, confermando come la qualità del progetto dipenda anche dalla capacità di attivare forme strutturate di coinvolgimento e scambio tra soggetti diversi (Binder et alii, 2015; Björqvinnsson, Ehn and Hillgren, 2012).

Alla luce di tali sviluppi il rapporto tra artigianato tradizionale, design contemporaneo e produzione industriale è emerso come uno dei temi più rilevanti della ricerca recente; tale rapporto può essere interpretato come un campo di interazione tra conoscenza culturale, sperimentazione dei materiali e innovazione industriale (Fig. 3). La letteratura mostra come i designer possano reinterpretare le tecniche artigianali tradizionali attraverso l'impiego delle tecnologie digitali, aprendo la possibilità a nuove forme di sviluppo del prodotto che da un lato rispettano il patrimonio culturale, dall'altro sostengono processi di innovazione (Dal Falco and Al Azhari, 2024).

Altri contributi evidenziano il ruolo delle reti produttive locali e delle comunità artigianali nelle transizioni industriali orientate alla sostenibilità: le filiere localizzate dei materiali e i sistemi produttivi fondati sull'artigianato possono infatti rafforzare le economie regionali, riducendo al contempo gli impatti ambientali associati ai modelli di produzione globalizzati (Gaddi and Mastrodonardo, 2024). Tali orientamenti risultano coerenti con obiettivi di sostenibilità più ampi, riconducibili all'economia circolare, alla resilienza dei sistemi produttivi e a forme di innovazione più inclusive sul piano sociale (UNEP, 2023; ONU, 2024).

Nonostante tali avanzamenti, il rapporto tra conoscenze artigianali, materiali di origine biologica



Fig. 1 | 'Yan-lipao' ('Lygodium flexuosum') is a natural material traditionally used in Southern Thailand for woven craft production (credit: the Author, 2020).

e sviluppo di prodotti industriali resta spesso trattato in modo frammentario. Le esperienze esistenti mostrano il potenziale dell'integrazione tra saperi artigianali, biomateriali e tecnologie digitali, ma raramente affrontano in modo strutturato la questione della scalabilità e dell'applicazione industriale. Il contributo specifico dello studio consiste quindi nel proporre un dispositivo metodologico che renda osservabile e verificabile il passaggio dal sapere artigianale alla sperimentazione progettuale e allo sviluppo del prodotto (Verganti, 2009; Lloyd, 2017).

#### Hybrid Craft-Industry Innovation Framework |

Assunto questo quadro teorico, la questione non risiede più nel semplice riconoscimento del valore dei materiali e dei saperi locali, bensì nella definizione di una cornice capace di renderli effettivamente operativi all'interno dei processi di innovazione di prodotto (European Commission, 2021; Ivanov, 2023). Nonostante il potenziale ormai ampiamente riconosciuto dei materiali artigianali e delle conoscenze locali la loro integrazione nello sviluppo del prodotto industriale continua infatti a presentarsi come limitata.

La produzione artigianale è generalmente connotata da ridotte scale produttive, da forme di sapere tacito e da pratiche profondamente radicate nei contesti locali; la produzione industriale si fonda al contrario su standardizzazione, scalabilità e ottimizzazione tecnologica. Mettere in relazione questi due sistemi richiede pertanto un diverso impianto concettuale, capace di connettere conoscenze culturali, prestazioni dei materiali e innovazione industriale all'interno di una medesima struttura interpretativa e operativa.

È in risposta a questa esigenza che la presente ricerca propone l'Hybrid Craft-Industry Innovation Framework (HCIF), concepito per sostenere la trasformazione dei materiali autoctoni di origine biologica e delle conoscenze artigianali tradizionali in risorse attivabili nel design industriale. Più che sostituire le pratiche artigianali con tecnologie industriali il framework mira a costruire un modello ibrido, in cui conoscenze artigianali, strumenti digitali di progettazione e strategie di produzione industriale interagiscono per generare nuove forme di innovazione materica. L'HCIF si articola in quattro dimensioni tra loro interconnesse – intelligenza dei materiali, conservazione delle pratiche artigianali, scalabilità industriale e capacità di risposta al mer-

cato (Fig. 4) – che individuano i fattori ritenuti decisivi per favorire un'integrazione efficace dei materiali artigianali nei processi di sviluppo industriale del prodotto.

La prima dimensione, l'intelligenza dei materiali, riguarda la comprensione delle proprietà fisiche, meccaniche ed estetiche dei materiali autoctoni. Gli artigiani dispongono spesso di una conoscenza esperienziale particolarmente approfondita del comportamento della materia, che include aspetti quali la flessibilità, la durabilità e i vincoli di lavorazione. L'integrazione di questo sapere tacito con una sperimentazione sistematica sui materiali consente ai designer di esplorare nuove possibilità di innovazione progettuale guidata dalle qualità intrinseche della materia. In questa prospettiva il materiale non viene considerato come elemento passivo da applicare a un'idea predefinita, ma come componente attivo del processo progettuale, in grado di orientarne gli esiti formali, prestazionali ed espressivi.

Una seconda dimensione fondamentale è la conservazione delle pratiche artigianali che, incorporando identità culturali, saperi storici e tradizioni produttive regionali, costituiscono un Patrimonio culturale di particolare valore. L'inclusione di tali componenti nel design contemporaneo non assume soltanto una funzione conservativa, ma consente anche di attribuire ai prodotti un valore narrativo ed estetico specifico, radicato nei contesti culturali di provenienza. In tal senso recenti contributi mostrano come la reinterpretazione delle tradizioni artigianali attraverso il progetto possa generare esiti innovativi senza compromettere l'autenticità culturale delle pratiche da cui traggono origine (Dal Falco and Al Azhari, 2024).

La terza dimensione riguarda la scalabilità industriale, vale a dire la possibilità di tradurre tecniche artigianali in forme compatibili con i sistemi di produzione industriale. Se i processi artigianali tradizionali sono spesso caratterizzati da un'elevata intensità di lavoro manuale e da una forte dipendenza dal contesto, le metodologie di progettazione e gli strumenti digitali possono contribuire ad adattare tali tecniche a processi produttivi ripetibili, controllabili e potenzialmente scalabili. In questa direzione gli studi sulla transizione industriale sostenibile sottolineano l'importanza di integrare reti produttive locali e strategie progettuali innovative per costruire sistemi produttivi più resilienti, capaci di

coniugare radicamento territoriale, flessibilità e innovazione (Gaddi and Mastrolonardo, 2024).

L'ultima dimensione è la capacità di risposta al mercato e riguarda l'attitudine dei prodotti sviluppati attraverso l'interazione tra artigianato e industria a confrontarsi con le domande del mercato contemporaneo. Un'innovazione di prodotto efficace non dipende infatti soltanto dalla fattibilità tecnica, ma richiede anche qualità estetica, prestazioni funzionali e sostenibilità economica. In questo passaggio il ruolo dei designer risulta decisivo, poiché traducono la conoscenza artigianale e la sperimentazione materica in soluzioni di prodotto in grado di rispondere alle esigenze, alle aspettative e ai criteri di valore propri dei contesti di consumo.

L'integrazione di queste quattro dimensioni consente all'HCIF di configurarsi come una struttura concettuale in grado di sostenere la collaborazione tra designer, artigiani e stakeholder industriali. Il framework promuove infatti lo sviluppo di strategie progettuali ibride, nelle quali la conoscenza della tradizione, i materiali sostenibili e l'innovazione industriale non sono considerati ambiti separati, ma componenti interagenti di un medesimo processo di sviluppo del prodotto. In questa prospettiva, l'HCIF non esaurisce il discorso teorico, ma definisce i criteri per interpretare le fasi operative dell'MDCD e per valutarne gli esiti. Più precisamente esso funge da dispositivo di lettura e di verifica, rendendo osservabile il modo in cui la relazione tra sapere artigianale, intelligenza dei materiali, trasferibilità produttiva e orientamento al mercato possa tradursi in una pratica progettuale strutturata.

#### Processo basato sul Material-Driven Co-Creative Design |

Il processo di Material-Driven Co-Creative Design (MDCD) costituisce la traduzione operativa dell'HCIF e organizza l'interazione tra designer, artigiani e sperimentazione materica. In questa prospettiva il materiale non è selezionato dopo la definizione del concept, ma agisce come punto di avvio dell'innovazione progettuale, orientando forma, prestazioni e qualità d'uso del prodotto (Correa et alii, 2023). In tale quadro il processo MDCD integra sperimentazione sui materiali, attività di progettazione collaborativa e strumenti digitali di progettazione con l'obiettivo di tradurre il sapere artigianale in applicazioni del design industriale. La valutazione delle prestazioni dei materiali è inoltre supportata da metodologie consolidate di valuta-

zione del ciclo di vita (LCA) e da quadri procedurali fondati su standard ISO (2006a, 2006b) che offrono una base strutturata per l'analisi degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita dei materiali (Bruijn et alii, 2002); in parallelo gli approcci di valutazione integrata vengono impiegati sempre più spesso per esaminare impatti e benefici ambientali complessi all'interno dei sistemi materici (Spisito e De Giovanni, 2023).

Il processo MDCD si articola in sei fasi iterative concepite per consentire a designer e artigiani di sviluppare progressivamente nuovi concetti di prodotto, mantenendo l'attenzione sia al comportamento dei materiali sia ai saperi culturali incorporati nelle pratiche di lavorazione (Fig. 5).

La prima fase è dedicata all'esplorazione e alla documentazione del materiale: in questa fase i designer indagano le caratteristiche fisiche del materiale locale, la sua flessibilità e il suo comportamento strutturale. Nel caso dello 'yan-lipao', la fase ha incluso l'osservazione diretta delle pratiche tradizionali di intreccio e l'analisi delle modalità con cui gli artigiani selezionano e preparano il materiale prima della lavorazione. Anche le operazioni di preparazione e condizionamento vengono accuratamente documentate al fine di comprendere i parametri che incidono sulle prestazioni del materiale e sulle sue possibilità applicative (Fig. 6).

La seconda fase riguarda la caratterizzazione e la sperimentazione del materiale: in questa fase i campioni selezionati sono sottoposti a prove meccaniche e strutturali finalizzate a valutare proprietà quali la flessibilità, la resistenza a trazione e la durabilità. I test producono informazioni di natura quantitativa che integrano e rendono confrontabili le conoscenze empiriche maturate dagli artigiani nel corso della pratica; le procedure di prova meccanica vengono condotte mediante configurazioni sperimentali standardizzate, progettate per analizzare in modo controllato il comportamento strutturale del materiale e per fornire dati utili alla successiva elaborazione progettuale (Fig. 7).

La terza fase prevede lo svolgimento di workshop di progettazione co-creativa tra studenti di design industriale e artigiani: i workshop operano co-

me piattaforme di scambio tra forme differenti di conoscenza: da un lato gli artigiani condividono tecniche di intreccio, modalità di lavorazione e competenze maturate nella relazione diretta con il materiale, dall'altro gli studenti introducono metodi progettuali contemporanei, pratiche di sviluppo del concept e strumenti di modellazione digitale. L'ambiente collaborativo così costruito favorisce la sperimentazione di nuove geometrie, nuove configurazioni strutturali e nuove tipologie di prodotto, rendendo il confronto tra il sapere tradizionale e gli strumenti contemporanei un dispositivo generativo del processo di progetto.

Nel corso della quarta fase entrano in gioco gli strumenti digitali di progettazione, impiegati per tradurre le evidenze e le intuizioni emerse nei workshop in concetti di prodotto sempre più definiti: la modellazione parametrica e la visualizzazione digitale consentono di esplorare configurazioni strutturali derivate da configurazioni di intreccio tradizionali, permettendo ai designer di verificare la coerenza tra forma, comportamento del materiale e potenziale realizzativo. La modellazione digitale consente inoltre di valutare proporzioni, assetti geometrici e possibili vincoli di produzione prima del passaggio alla prototipazione fisica, svolgendo quindi una funzione di mediazione tra la sperimentazione artigianale e la verifica progettuale.

La quinta fase è dedicata allo sviluppo e alla realizzazione dei prototipi: a partire dalle elaborazioni maturate nelle fasi precedenti viene prodotta una serie di prototipi sperimentali attraverso il lavoro congiunto di studenti di design e artigiani. Questa fase assume un ruolo cruciale, poiché consente al gruppo di ricerca di verificare in che modo le tecniche artigianali tradizionali possano essere adatte a prodotti contemporanei, senza compromettere né l'integrità strutturale né l'autenticità materica. La realizzazione prototipale rende dunque osservabile il passaggio dalla conoscenza del materiale alla sua traduzione in esiti progettuali dotati di coerenza formale, costruttiva e applicativa.

La fase conclusiva riguarda la valutazione e il perfezionamento del progetto: i prototipi vengono analizzati in relazione alle prestazioni strutturali, al-

le qualità estetiche e al loro possibile impatto sul mercato. Le osservazioni e i riscontri formulati da designer, artigiani e potenziali utenti vengono quindi reinseriti nelle iterazioni successive del processo progettuale, per orientare il miglioramento progressivo degli esiti. Attraverso questo dispositivo valutativo di natura iterativa la metodologia MDCD consente il perfezionamento graduale dei prodotti e contribuisce a garantire che i risultati finali rimangano coerenti con gli obiettivi di un design sostenibile, culturalmente consapevole e metodologicamente fondato.

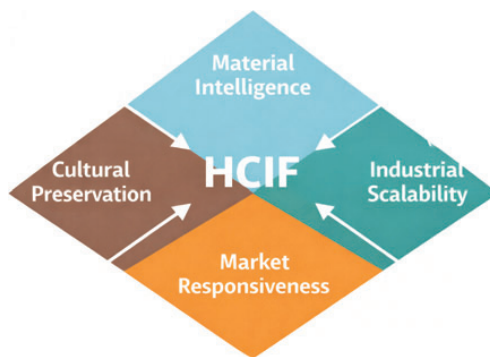
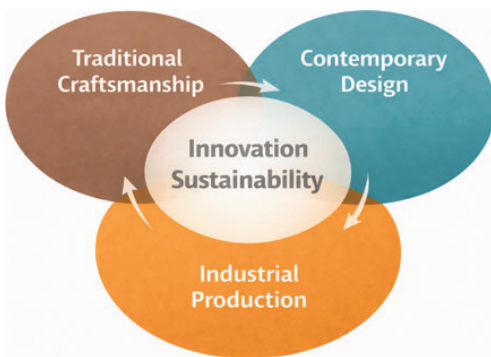
Più che ribadire in forma astratta il modello proposto, le sezioni successive ne mettono alla prova la tenuta attraverso tre passaggi strettamente concatenati: la caratterizzazione del materiale, la co-progettazione e lo sviluppo prototipale; è infatti nella relazione tra questi tre momenti che il framework metodologico trova la propria verifica operativa, mostrando in che modo la convergenza tra intelligenza dei materiali, saperi artigianali e pratiche progettuali possa tradursi in un processo di innovazione concretamente osservabile e valutabile.

**Caratterizzazione dei materiali** | La fase di caratterizzazione dei materiali è finalizzata a indagare in modo sistematico le proprietà fisiche e meccaniche dello 'yan-lipao' per sostenerne l'impiego nei processi di design industriale. Sebbene tale materiale sia tradizionalmente impiegato nell'ambito della produzione artigianale il suo comportamento strutturale è stato raramente analizzato mediante procedure sperimentali. Per questa ragione la presente ricerca mette in relazione la conoscenza empirica degli artigiani con test controllati sul materiale e con un apparato documentale capace di restituirne, in modo più rigoroso, le prestazioni e le potenzialità applicative.

La caratterizzazione prende avvio dalla preparazione e dalla stabilizzazione igrometrica dei campioni: gli steli dello 'yan-lipao' vengono raccolti, puliti, essiccati e trasformati in fibre idonee alla sperimentazione. Il contributo degli artigiani è decisivo nell'individuazione delle modalità più appropriate di taglio, apertura e trattamento preliminare, mentre

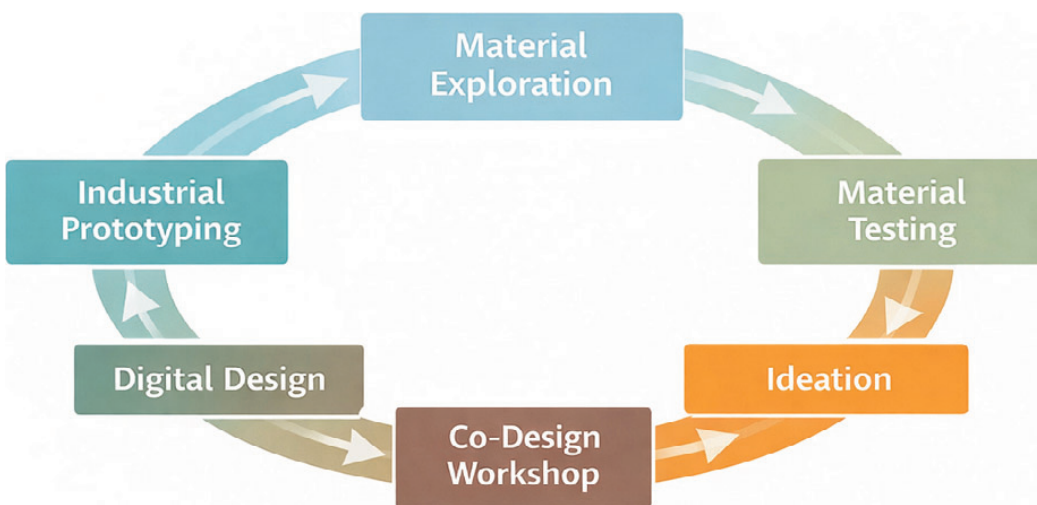


Fig. 2 | Traditional 'yan-lipao' weaving techniques performed by craft practitioners in Southern Thailand (credit: the Author, 2020).



**Fig. 3** | Conceptual relationship between traditional craftsmanship, contemporary design practices and industrial production systems (credit: the Author, 2026).

**Fig. 4** | Hybrid Craft-Industry Innovation Framework (HCIF) integrating material intelligence, cultural preservation, industrial scalability, and market responsiveness (credit: the Author, 2026).



**Fig. 5** | Material-Driven Co-Creative Design (MDCD) process illustrating the six phases of the research methodology (credit: the Author, 2026).

le procedure di controllo consentono di ottenere campioni omogenei per dimensione e umidità.

Le prove meccaniche misurano il comportamento deformativo del materiale e la sua resistenza ai carichi applicati, integrando la conoscenza empirica degli artigiani con dati quantitativi. Lo studio considera inoltre le operazioni di piegatura, tessitura e intreccio strutturale, poiché le prestazioni dei manufatti dipendono tanto dalle proprietà delle singole fibre quanto dalla loro interazione nelle diverse configurazioni di intreccio.

L'analisi conferma alcune qualità distintive dello 'yan-lipao' – flessibilità, leggerezza e capacità di generare strutture curve complesse – che ne suggeriscono l'impiego in applicazioni attente alla resilienza strutturale e alla qualità estetica (Fig. 8). Questi dati costituiscono la base tecnica per la successiva esplorazione progettuale.

**Laboratori di progettazione co-creativa** | I laboratori di progettazione co-creativa costituiscono una fase centrale della ricerca, poiché consentono l'interazione diretta tra studenti di design industriale e artigiani. I workshop, a cui hanno preso parte complessivamente 10 studenti di design industriale e 5 artigiani, operano come contesti sperimentali nei quali convergono saperi artigianali tradizionali, esplorazione materica e metodi del progetto contemporaneo, con l'obiettivo di favorire lo scambio di conoscenze e la sperimentazione collaborativa finalizzati alla traduzione dei materiali autoctoni in nuovi concetti di prodotto.

I partecipanti sono stati selezionati in base alla loro esperienza, rispettivamente, nella produzione artigianale e nella pratica del design. Il protocollo dei laboratori si articolava in più fasi: preparazione dei materiali, sperimentazione delle tecniche di intreccio, esplorazione morfologica e sviluppo del

prototipo. I dati sono stati raccolti attraverso l'osservazione diretta, la documentazione fotografica e la registrazione delle diverse iterazioni progettuali, mentre la valutazione dei prototipi è stata condotta secondo criteri predefiniti che comprendono le prestazioni strutturali, l'usabilità, la qualità estetica e il potenziale di mercato.

Nel corso dei workshop gli artigiani hanno introdotto i partecipanti alle tecniche tradizionali di intreccio dello 'yan-lipao' e mostrato come il materiale viene preparato, manipolato e organizzato strutturalmente nel processo produttivo artigianale. Questo sapere tacito, maturato attraverso una lunga esperienza pratica, fornisce indicazioni essenziali sulla flessibilità del materiale, sulla sua resistenza e sui suoi limiti operativi. L'osservazione e la documentazione di tali pratiche consentono ai designer di comprendere più a fondo la relazione tra il comportamento del materiale e le tecniche di lavorazione (Fig. 9).

Gli studenti integrano tali conoscenze con strumenti propri del progetto contemporaneo, tra cui disegno, sviluppo del concept e modellazione digitale. La collaborazione consente di esplorare nuove geometrie, configurazioni strutturali e tipologie di prodotto a partire dalle proprietà intrinseche dello 'yan-lipao', riducendo la distanza tra pratica artigianale e design industriale.

La modellazione digitale viene introdotta per tradurre le evidenze emerse dalla sperimentazione fisica in proposte più definite, verificando proporzioni, assetti geometrici e possibili vincoli di produzione prima della prototipazione (Fig. 10). I workshop operano quindi come dispositivi di apprendimento reciproco e di selezione progettuale: individuano principi configurativi, soglie di lavorabilità e ipotesi tipologiche da sottoporre a verifica nella fase prototipale.

**Sviluppo del prototipo** | La fase di sviluppo del prototipo traduce gli esiti emersi nei workshop di co-progettazione in soluzioni progettuali verificabili, attraverso la realizzazione di manufatti che mostrano in che modo lo 'yan-lipao' e le tecniche tradizionali di intreccio possano essere trasferiti in un prodotto di design. A partire dai concept elaborati nella fase collaborativa è stato selezionato un insieme di proposte preliminari da sottoporre a ulteriore sviluppo, sulla base di criteri relativi alla fattibilità strutturale, alla qualità formale, alla producibilità e alla capacità di valorizzare le proprietà intrinseche del materiale. Particolare attenzione è stata inoltre riservata alla possibilità di adattare le logiche dell'intreccio tradizionale a tipologie di prodotto contemporanee, senza compromettere l'autenticità tecnico-culturale del sapere artigianale.

Nel corso dello sviluppo studenti e artigiani hanno definito congiuntamente dettagli costruttivi e strategie di produzione. Attraverso successive iterazioni sono stati calibrati densità delle fibre, schemi strutturali e sistemi di connessione, fino a ottenere manufatti dotati di stabilità, coerenza formale e adeguate prestazioni materico-strutturali.

La realizzazione dei prototipi ha richiesto un'interazione costante tra modellazione digitale e lavorazione artigianale manuale. Gli strumenti di modellazione digitale sono stati impiegati per verificare le proporzioni e le relazioni geometriche, mentre le configurazioni materiche finali sono state realizzate con tecniche tradizionali di intreccio. Questo processo produttivo ibrido mostra come gli strumenti del progetto possano sostenere la reinterpretazione dei metodi di produzione artigianale, senza annullarne la specificità tecnica e culturale.

La Figura 11 sintetizza il passaggio dagli schizzi concettuali e dai modelli digitali ai prototipi fisici. Questa fase fornisce la base empirica della valu-

tazione comparativa successiva, nella quale la trasferibilità delle tecniche artigianali viene discussa alla luce degli esiti realizzati e dei limiti emersi.

**Risultati: esiti di prodotto** | La presente sezione considera i prototipi come campo di verifica comparativa della versatilità dello 'yan-lipao' e dell'efficacia del processo fondato sull'MDCD. Una prima valutazione indica che i prototipi hanno raggiunto livelli coerenti di stabilità strutturale e di usabilità nelle diverse configurazioni testate, con riscontri positivi da parte dei partecipanti nel corso della fase valutativa. I prototipi sono stati esaminati sulla base di criteri relativi alle prestazioni strutturali, alla qualità estetica, all'usabilità e al potenziale di mercato, restituendo una valutazione multidimensionale del loro assetto progettuale e delle loro potenzialità applicative (n = 4).

Al fine di verificare la versatilità del materiale e l'efficacia del processo MDCD, sono state individuate quattro categorie di prodotto ritenute rappresentative: decorazione d'interni, illuminazione, supporti per l'esposizione e accessori personali; ciascun prototipo mette in evidenza specifiche proprietà strutturali ed espressive dell'intreccio in 'yan-lipao'.

Il primo prototipo è uno specchio decorativo, in cui le strutture intrecciate in 'yan-lipao' sono integrate in una configurazione contemporanea della cornice. Il progetto valorizza la curvatura e la flessibilità del materiale, definendo al contempo un'immagine di leggerezza; gli elementi intrecciati assolvono a una funzione sia decorativa che di rinforzo strutturale della cornice (Fig. 12). Il secondo prototipo esplora invece l'impiego dello 'yan-lipao' nel design dell'illuminazione, in cui la tecnica dell'intreccio viene utilizzata per realizzare una struttura semitrasparente capace di diffondere la luce attraverso il materiale; il prodotto mostra come la tessitura naturale dello 'yan-lipao' possa generare effetti luminosi particolari, mantenendo al contempo adeguate condizioni di stabilità strutturale (Fig. 13).

Il terzo prototipo è una cornice che mette in risalto il potenziale decorativo delle tessiture di intreccio tradizionali; attraverso l'adattamento delle tecniche artigianali a una struttura di supporto rigida, il progetto mostra come l'intreccio in 'yan-lipao' possa essere utilizzato in oggetti decorativi contemporanei senza perdere la propria riconoscibilità culturale (Fig. 14). Il quarto prototipo è una borsa, selezionata per verificare l'adattabilità del materiale

ad applicazioni nel settore della moda e degli accessori; in questo caso la flessibilità strutturale dello 'yan-lipao' consente all'oggetto di coniugare leggerezza e resistenza, evidenziando al contempo come le tecniche artigianali tradizionali possano essere trasferite a prodotti coerenti con i mercati di consumo (Fig. 15). Nel loro insieme i prototipi mostrano la capacità dell'intreccio in 'yan-lipao' di essere impiegato in diverse tipologie di prodotto, caratterizzandone i registri espressivi. Più che sancire in modo definitivo la validità del framework, i prototipi circoscrivono le condizioni entro cui l'intreccio in 'yan-lipao' può essere reinterpretato come risorsa progettuale e preparano il terreno per la successiva discussione critica.

**Discussione** | Sul piano interpretativo i risultati non si esauriscono nella conferma dell'adattabilità dello 'yan-lipao', ma mostrano come questo materiale possa operare come mediatore tra qualità materiche, configurazioni d'uso e costruzione di valore culturale nei processi di design industriale. In tal senso gli esiti della ricerca si collocano in continuità con quegli studi che riconoscono ai materiali di origine biologica un ruolo significativo nello sviluppo sostenibile del prodotto e nelle strategie di progettazione orientate alla circolarità.

Uno dei risultati più rilevanti emersi dalla ricerca riguarda il ruolo della collaborazione tra studenti di design industriale e artigiani. I workshop di co-progettazione hanno infatti attivato uno scambio strutturato di conoscenze, in cui i saperi taciti propri delle pratiche artigianali si sono intrecciati con le metodologie progettuali contemporanee e con gli strumenti di modellazione digitale. Questo modello collaborativo mostra come i sistemi di conoscenza tradizionali possano contribuire in modo efficace ai processi di innovazione, a condizione che siano ricondotti entro dispositivi progettuali formalizzati e metodologicamente controllati.

Lo studio evidenzia inoltre la rilevanza degli approcci progettuali guidati dai materiali nello sviluppo di prodotti sostenibili: quando le proprietà dei materiali vengono assunte come fattore ordinatore del processo progettuale diventa possibile esplorare configurazioni formali e strutturali che emergano direttamente dal comportamento della materia. Nel caso dello 'yan-lipao' la sua flessibilità e la sua propensione all'intreccio hanno reso possibile la realizzazione di manufatti al tempo stesso leggeri e dotati di adeguate prestazioni strutturali.

Dal punto di vista produttivo i risultati suggeriscono che le tecniche artigianali tradizionali possano essere adattate ai sistemi di produzione contemporanei, purché siano sostenute da metodologie progettuali adeguate e da opportuni strumenti digitali. Sebbene la produzione artigianale operi generalmente su scala ridotta, l'integrazione tra ricerca progettuale e sperimentazione materica può agevolare il trasferimento verso nuove categorie di prodotto, caratterizzate da una maggiore rilevanza sul mercato. In questo senso gli esiti della ricerca contribuiscono anche al dibattito sull'Industria 5.0 che colloca al centro dei sistemi industriali l'integrazione tra creatività umana, conoscenza culturale e innovazione tecnologica. L'approccio ibrido qui proposto mostra infatti come il sapere artigianale possa coesistere con i processi di progettazione digitale, aprendo nuove possibilità per forme di innovazione di prodotto insieme sostenibili e culturalmente consapevoli.

I prototipi sviluppati evidenziano inoltre i potenziali benefici socioeconomici della collaborazione tra artigianato e design. L'estensione dell'impiego di materiali tradizionali a nuovi contesti produttivi può infatti favorire, per le comunità artigianali, l'accesso a nuovi mercati e a ulteriori opportunità economiche; parallelamente i designer possono avvalersi di competenze materiche specifiche e delle narrazioni culturali delle tradizioni artigianali, riconoscendole come risorse attive nel processo di innovazione. Permangono tuttavia alcune criticità: l'adattamento delle tecniche artigianali ai contesti industriali richiede infatti un'attenta considerazione della scalabilità produttiva, del controllo della qualità e dell'accettazione da parte del mercato. In questa prospettiva ulteriori sviluppi della ricerca dovranno esplorare strategie in grado di integrare le reti della produzione artigianale all'interno di filiere industriali più ampie, preservando al contempo l'autenticità e il valore culturale delle pratiche tradizionali. Nel complesso i risultati indicano che l'integrazione tra conoscenze artigianali, materiali di origine biologica e metodi contemporanei di progettazione può sostenere lo sviluppo di prodotti innovativi, coerenti sia con i principi della sostenibilità sia con una visione dello sviluppo industriale centrata sulla persona.

**Sinergie e compromessi rispetto agli SDG** | Alla luce dei risultati discussi il rapporto con gli SDG non può essere assunto come un semplice allinea-



Fig. 6 | Preparation and conditioning of 'yan-lipao' fibres prior to material experimentation and testing (credit: the Author, 2020).

mento dichiarativo, ma deve essere letto come verifica delle ricadute operative del modello proposto. In particolare l'HCIF e il processo basato sull'MDCD mostrano una chiara convergenza con l'SDG 9 (Industria, innovazione e infrastrutture) e con l'SDG 8 (Lavoro dignitoso e crescita economica), che costituiscono il focus tematico del presente volume della rivista.

Il contributo all'SDG 9 emerge dalla definizione di una metodologia che integra materiali di origine biologica, saperi artigianali e pratiche del design industriale. La sequenza sperimentazione materica, co-progettazione e prototipazione mostra come risorse locali possano generare opportunità di innovazione di prodotto, collegando Patrimonio culturale e sviluppo industriale. Rispetto all'SDG 8, lo studio evidenzia il ruolo delle comunità artigianali nei processi di innovazione e la possibilità di aprire nuove prospettive professionali e di reddito attraverso partnership strutturate con designer e istituzioni formative.

Le sinergie con l'SDG 12 e con l'SDG 13 derivano dall'impiego di un materiale naturale e rinnovabile, dalla valorizzazione di filiere localizzate e dalla riduzione potenziale della dipendenza da materiali sintetici e da catene di approvvigionamento ad alto impatto. Tali effetti devono tuttavia essere verificati caso per caso, poiché le interazioni tra SDG possono produrre esiti positivi e compromessi operativi (Bai et alii, 2024).

Permangono tuttavia alcuni elementi di criticità e di compromesso: una prima questione riguarda la scalabilità della produzione artigianale; se da un lato le tecniche tradizionali incorporano conoscenze culturali e materiali di grande valore, dall'altro spesso si caratterizzano per una capacità produttiva limitata. L'estensione della produzione, senza perdita di autenticità e di qualità esecutiva, richiede pertanto un attento coordinamento tra designer, artigiani e potenziali partner industriali. Un secondo aspetto riguarda il rapporto tra le aspettative di mercato e la standardizzazione del prodotto. La produzione industriale richiede generalmente qualità costante, riproducibilità ed efficienza economica, mentre i processi artigianali tendono ad accogliere la variabilità e la specificità del fare

manuale come parte integrante del valore del manufatto. Per eventuali sviluppi della ricerca è necessario approfondire strategie capaci di bilanciare queste logiche differenti mediante modelli produttivi ibridi, nei quali le competenze artigianali siano integrate da un adeguato supporto tecnologico.

Ne consegue che il contributo agli SDG non è lineare né automatico: dipende dalla capacità del progetto di bilanciare identità materica, sostenibilità ambientale, accesso al mercato e tenuta delle filiere locali. Su questo terreno l'HCIF e l'MDCD funzionano come strumenti di orientamento, pur lasciando aperte questioni relative a scalabilità e fattibilità economica.

**Limiti, sviluppi futuri e conclusioni** | Sebbene la presente ricerca sottolinei il potenziale dell'integrazione tra materiali di origine biologica reperibili in ambito locale e saperi artigianali tradizionali nel design industriale è opportuno esplicitarne con chiarezza alcuni limiti: in primo luogo, la sperimentazione è stata condotta in un contesto di ricerca circoscritto, definito attorno a un solo materiale, lo 'yanlipao', e al coinvolgimento di un gruppo specifico di artigiani. Se da un lato tale impostazione consente di ricostruire con precisione l'interazione tra conoscenza artigianale e processi di design industriale, dall'altro non autorizza un'estensione immediata dei risultati all'insieme delle tradizioni artigianali o dei materiali di origine biologica.

Un secondo limite riguarda la fase di sviluppo dei prototipi, orientata prevalentemente all'esplorazione degli esiti progettuali anziché alla verifica della fattibilità produttiva su larga scala. Lo studio suggerisce che le tecniche artigianali possano essere reinterpretate e adattate allo sviluppo di prodotti contemporanei; tuttavia, restano necessari ulteriori approfondimenti per comprendere in quale misura tali processi possano operare in contesti industriali più estesi e strutturati. In questa prospettiva le ricerche future potrebbero concentrarsi sull'analisi di modelli produttivi ibridi, capaci di combinare lavorazioni di matrice artigianale con adeguati supporti tecnologici, così da incrementare la capacità produttiva senza compromettere il valore culturale e la specificità tecnica delle pratiche tradizionali.

Un ulteriore limite riguarda la validazione di mercato: benché i prototipi sviluppati evidenzino potenzialità significative sul piano estetico e strutturale, sarebbe necessaria una sperimentazione più estesa, condotta su un campione più ampio di utenti e stakeholder del settore, per valutarne l'effettiva sostenibilità commerciale nel lungo periodo. In tal senso i successivi sviluppi della ricerca dovrebbero includere forme più articolate di valutazione d'uso, analisi del ciclo di vita e verifiche di fattibilità economica, così da chiarire più puntualmente le implicazioni operative dell'integrazione dei materiali artigianali nei mercati del design industriale. Allo stesso modo studi successivi potrebbero applicare l'HCIF e il processo MDCD ad altri materiali locali e ad altre tradizioni artigianali, in differenti contesti geografici, al fine di verificare la trasferibilità del framework proposto e contribuire ulteriormente allo sviluppo di strategie progettuali sostenibili e centrate sulla persona.

Entro tali limiti, la ricerca dimostra che lo 'yanlipao' può assumere un ruolo progettuale significativo quando il sapere artigianale viene integrato con prove sistematiche, co-progettazione e sviluppo prototipale. I risultati chiariscono il potenziale del materiale senza generalizzare oltre il caso analizzato. Più in generale, l'articolo attribuisce al Design una funzione di mediazione tra sistemi materiali, conoscenza culturale e innovazione industriale. L'HCIF e il processo MDCD offrono una base concettuale e metodologica trasferibile, da verificare in ulteriori contesti geografici, materiali e produttivi.

The transition towards Industry 5.0 represents a significant shift in the paradigm of contemporary industrial production, as it moves beyond a vision centred exclusively on automation efficiency and towards human-centric, sustainable, and resilient production systems. Within this scenario, the design disciplines play a strategic mediating role between technological innovation, environmental responsibility, and sociocultural values. In recent years, bio-based materials have gained increasing prominence as sustainable alternatives to conven-



**Fig. 7** | Mechanical testing procedure used to analyse the structural behaviour and flexibility of 'yanlipao' fibres (credit: the Author, 2020).

**Fig. 8** | Analysis of material behaviour during bending and weaving experiments (credit: the Author, 2020).

tional industrial materials, as they contribute to circular economy strategies, reduce dependence on non-renewable resources, and strengthen local supply chains. Despite this potential, their use in contemporary industrial product development processes remains limited.

Within this framework, traditional craft practices constitute a particularly significant, although often marginalised, source of knowledge concerning material behaviour, processing techniques, and the use of local ecological resources. Craft practitioners preserve tacit knowledge accumulated over time and developed through generations of practice; however, this knowledge generally remains confined to small-scale production contexts and rarely enters into dialogue with contemporary industrial design processes. 'Yan-lipao' (*Lygodium flexuosum*) is a climbing fern traditionally used in Southern Thailand for the production of woven artefacts; the material is valued for its flexibility, strength, and distinctive aesthetic qualities (Fig. 1). Over time, local craft practitioners have developed sophisticated weaving techniques capable of producing objects of considerable formal and constructive refinement (Fig. 2). Nevertheless, the use of 'yan-lipao' remains largely confined to traditional craft markets.

Recent literature has already recognised the potential of integrating craft, digital technologies, and contemporary design practices; however, a reading capable of operationally connecting craft knowledge, material experimentation, and industrial scalability remains less developed. In response to this gap, the research introduces the Hybrid Craft-Industry Innovation Framework (HCIF) as a framework for translating local material knowledge into broader design and production processes. To operationalise this approach, the research develops a Material-Driven Co-Creative Design (MDCD) process that integrates material experimentation, collaboration between industrial design students and craft practitioners, and the use of digital design tools. Through this approach, the study analyses how traditional materials, and 'yan-lipao' in particular, can be reinterpreted and translated into contemporary products.

The research pursues three main objectives: first, to define a human-centric design framework capable of integrating local bio-based materials and traditional craft knowledge within the context of Industry 5.0; second, to develop a co-creative design methodology that encourages dialogue and collaboration between designers and craft practitioners; and, finally, to verify the feasibility of this approach through the development of experimental products.

The article is structured according to a progression consistent with these objectives: the first section reconstructs the theoretical and critical background, examining the literature on Industry 5.0, bio-based materials, and the integration of craft and design; the following sections introduce the HCIF and the MDCD process; the methodological structure and experimental procedures are then described, followed by the presentation and discussion of the outcomes emerging from prototype development. The contribution concludes by reflecting on the limits of the research and on its possible implications for sustainable design and future trajectories of industrial innovation.

The proposed HCIF addresses this fragmentation by integrating bio-based materials, craft knowledge, and co-design into a unified methodological

structure oriented towards the transferability of local knowledge into contemporary product development processes. The contribution therefore advances material-driven design and craft-based innovation, offering useful indications for research on sustainable design, circular design, and the trajectories of Industry 5.0.

### State of the art and theoretical background |

Recent research on sustainable design and Industry 5.0 has progressively clarified how contemporary industrial systems are increasingly required to integrate technological innovation, human creativity, and environmental responsibility. Unlike previous industrial paradigms, which were primarily oriented towards production efficiency and automation, Industry 5.0 promotes a human-centric production model based on collaboration between advanced technologies and human knowledge (European Commission, 2021; Ivanov, 2023; Huang et alii, 2022; Zizic et alii, 2022; Turner and Oyekan, 2023; Ghobakhloo et alii, 2022, 2024; Osello et alii, 2024; Yitmen et alii, 2023). From this perspective, designers assume a particularly significant role, as they act as mediators between cultural knowledge, material innovation, and industrial production processes (Valenti, Trimarchi and Farresin, 2023; Zannoni et alii, 2024).

Within this framework, bio-based materials have attracted increasing attention as sustainable alternatives to conventional industrial materials. Their interest lies in their capacity to contribute to circular economy strategies, reduce dependence on non-renewable resources, and support more localised supply chains (EMF, 2013; Geissdoerfer et alii, 2017; Bocken et alii, 2016; Kirchherr, Reike and Hekkert, 2017; Olivastrì and Tagliascò, 2024; Pietroni et alii, 2023). Some studies also underline how such materials can support the development of low-impact products and guide more ecologically responsible design practices (Maffei et alii, 2024; Pradhan et alii, 2024; Morpurgo, 2024). At the same time, a significant strand of the literature on sustainable materials stresses the need to assess environmental impacts throughout the entire life cycle of materials, in order to provide a more rigorous and systemic understanding (Ashby, 2012; McDonough and Braungart, 2002).

The scientific literature also highlights that traditional craft is a relevant source of tacit knowledge concerning materials, production processes, and cultural heritage. Craft practices incorporate a profound understanding of material behaviour that is only rarely adequately formalised or valorised within industrial research (Sennett, 2008; Luckman, 2015). These knowledge systems are therefore relevant not only to cultural conservation, but also to the definition of alternative models of innovation rooted in local contexts and territorial specificities (Manzini, 2015).

Within design research, material-oriented design approaches have progressively recognised an increasingly central role for material experience and experimentation in defining product innovation (Karana, Pedgley and Rognoli, 2014; Karana et alii, 2015; Pedgley, 2014; Giaccardi and Karana, 2015). In this line of inquiry, the material is not considered merely as a technical support or constructive component, but as an active factor in generating qualities of use, perceptual values, and design meanings. Other studies addressing the ex-

pressive and experiential dimensions of materials show how designers can generate new forms of product meaning through the exploration of material properties and sensory characteristics (Rognoli, 2010; Rognoli et alii, 2015; Crippa, Rognoli and Levi, 2012).

In parallel, participatory and co-design methodologies have become central approaches in contemporary design research, placing collaboration between designers, users, and stakeholders at the centre as a condition for generating socially relevant innovation (Sanders and Stappers, 2008; Spinuzzi, 2005; Steen, 2013; Porfirione, Ferrari Tumay and Leggiero, 2024). Research on participatory design has further highlighted the value of collaborative experimentation and democratic design processes in addressing complex social problems, confirming that design quality also depends on the capacity to activate structured forms of involvement and exchange between different actors (Binder et alii, 2015; Björgvinsson, Ehn and Hillgren, 2012). In light of these developments, the relationship between traditional craft, contemporary design, and industrial production has emerged as one of the most relevant themes in recent research; this relationship can be interpreted as a field of interaction between cultural knowledge, material experimentation, and industrial innovation (Fig. 3). The literature shows how designers can reinterpret traditional craft techniques through the use of digital technologies, opening up the possibility of new forms of product development that respect cultural heritage while also supporting innovation processes (Dal Falco and Al Azhari, 2024).

Other contributions highlight the role of local production networks and craft communities in industrial transitions oriented towards sustainability: localised material supply chains and craft-based production systems can strengthen regional economies while reducing the environmental impacts associated with globalised production models (Gaddi and Mastrolonardo, 2024). These orientations are consistent with broader sustainability objectives associated with the circular economy, the resilience of production systems, and more socially inclusive forms of innovation (UNEP, 2023; UN, 2024).

Despite these advances, the relationship between craft knowledge, bio-based materials, and industrial product development is still often addressed in a fragmented way. Existing experiences demonstrate the potential of integrating craft knowledge, biomaterials, and digital technologies, but they rarely address the question of scalability and industrial application in a structured manner. The specific contribution of this study therefore lies in proposing a methodological device that makes the transition from craft knowledge to design experimentation and product development both observable and verifiable (Verganti, 2009; Lloyd, 2017).

### Hybrid Craft-Industry Innovation Framework |

Having established this theoretical framework, the issue no longer lies simply in recognising the value of local materials and knowledge, but in defining a framework capable of making them effectively operational within product innovation processes (European Commission, 2021; Ivanov, 2023). Despite the now widely recognised potential of craft materials and local knowledge, their integration into industrial product development remains limited.

Craft production is generally characterised by small production scales, tacit forms of knowledge, and practices deeply rooted in local contexts; industrial production, by contrast, is based on standardisation, scalability, and technological optimisation. Bringing these two systems into relation therefore requires a different conceptual structure, one capable of connecting cultural knowledge, material performance, and industrial innovation within the same interpretive and operational framework.

In response to this need, the present research proposes the Hybrid Craft-Industry Innovation Framework (HCIF), conceived to support the transformation of indigenous bio-based materials and traditional craft knowledge into resources that can be activated in contemporary industrial design. Rather than replacing craft practices with industrial technologies, the framework aims to construct a hybrid model in which craft knowledge, digital design tools, and industrial production strategies interact to generate new forms of material innovation. The HCIF is organised around four interconnected dimensions – material intelligence, craft preservation, industrial scalability, and market responsiveness (Fig. 4) – which identify the factors considered decisive for enabling the effective integration of craft materials into contemporary product development processes.

The first dimension, material intelligence, concerns the understanding of the physical, mechanical, and aesthetic properties of indigenous materials. Craft practitioners often possess particularly deep experiential knowledge of material behaviour, including aspects such as flexibility, durability, and processing constraints. Integrating this tacit knowledge with systematic material experimentation allows designers to explore new possibilities for design innovation guided by the intrinsic qualities of matter. From this perspective, the material is not considered a passive element to be applied to a predefined idea, but an active component of the design process, capable of orient-

ing its formal, performance-related, and expressive outcomes. A second fundamental dimension is the preservation of craft practices, which, by incorporating cultural identities, historical knowledge, and regional production traditions, constitute cultural heritage of particular value. The inclusion of these components in contemporary design does not perform only a conservative function, but also makes it possible to assign products a specific narrative and aesthetic value rooted in their cultural contexts of origin. In this sense, recent contributions show how the reinterpretation of craft traditions through design can generate innovative outcomes without compromising the cultural authenticity of the practices from which they originate (Dal Falco and Al Azhari, 2024). The third dimension concerns industrial scalability, namely the possibility of translating craft techniques into forms compatible with industrial production systems. Although traditional craft processes are often characterised by a high intensity of manual labour and a strong dependence on context, design methodologies and digital tools can help adapt these techniques to repeatable, controllable, and potentially scalable production processes. In this direction, studies on sustainable industrial transition underline the importance of integrating local production networks and innovative design strategies in order to build more resilient production systems capable of combining territorial embeddedness, flexibility, and innovation (Gaddi and Mastrodonardo, 2024).

The final dimension is market responsiveness and concerns the capacity of products developed through the interaction between craft and industry to engage with the demands of the contemporary market. Effective product innovation does not depend solely on technical feasibility, but also requires aesthetic quality, functional performance, and economic sustainability. In this passage, the role of designers is decisive, as they translate craft knowledge and material experimentation into product

solutions capable of responding to the needs, expectations, and value criteria of contemporary consumer contexts. The integration of these four dimensions allows the HCIF to be configured as a conceptual structure capable of supporting collaboration between designers, craft practitioners, and industrial stakeholders. The framework promotes the development of hybrid design strategies in which knowledge of tradition, sustainable materials, and industrial innovation are not treated as separate domains, but as interacting components of a single product development process. From this perspective, the HCIF does not exhaust the theoretical discussion; rather, it defines the criteria for interpreting the operational phases of MDCD and for evaluating their outcomes. More precisely, it functions as a reading and verification device, making observable how the relationship between craft knowledge, material intelligence, production transferability, and market orientation can be translated into a structured design practice.

**Process based on Material-Driven Co-Creative Design** | The Material-Driven Co-Creative Design (MDCD) process constitutes the operational translation of the HCIF and organises the interaction between designers, craft practitioners, and material experimentation. From this perspective, the material is not selected after the concept has been defined, but acts as the starting point of design innovation, orienting the form, performance, and qualities of use of the product (Correa et alii, 2023).

Within this framework, the MDCD process integrates material experimentation, collaborative design activities, and digital design tools with the aim of translating craft knowledge into contemporary applications of industrial design. The evaluation of material performance is also supported by consolidated Life-Cycle Assessment methodologies and by procedural frameworks based on ISO standards (2006a, 2006b), which provide a struc-



**Fig. 9** | Co-creative design workshop involving industrial design students and craft practitioners (credit: the Author, 2021).



Fig. 10, 11 | Prototypes combining digital design exploration and traditional weaving techniques (credits: the Author, 2021).

tured basis for analysing environmental impacts throughout the entire life cycle of materials (Brujin et alii, 2002); in parallel, integrated assessment approaches are increasingly used to examine complex environmental impacts and benefits within material systems (Sposito and De Giovanni, 2023).

The MDCD process is structured into six iterative phases conceived to allow designers and craft practitioners to progressively develop new product concepts, while maintaining attention to both material behaviour and the cultural knowledge embedded in making practices (Fig. 5).

The first phase is dedicated to material exploration and documentation: at this stage, designers investigate the physical characteristics of the local material, its flexibility, and its structural behaviour. In the case of 'yan-lipao', this phase included direct observation of traditional weaving practices and analysis of how craft practitioners select and prepare the material before processing. Preparation and conditioning operations are also carefully documented in order to understand the parameters that affect the material's performance and its possible applications (Fig. 6).

The second phase concerns material characterisation and experimentation: at this stage, selected samples are subjected to mechanical and structural tests aimed at assessing properties such as flexibility, tensile strength, and durability. The tests produce quantitative information that integrates and makes comparable the empirical knowledge developed by craft practitioners through practice; the mechanical testing procedures are carried out using standardised experimental configurations designed to analyse the structural behaviour of the material under controlled conditions and to provide data useful for subsequent design development (Fig. 7).

The third phase involves co-creative design workshops between industrial design students and craft practitioners: the workshops operate as platforms of exchange between different forms of knowledge. On the one hand, craft practitioners share weaving techniques, processing methods, and skills developed through direct engagement with the material; on the other, students introduce contemporary design methods, concept develop-

ment practices, and digital modelling tools. The collaborative environment thus constructed encourages the experimentation of new geometries, structural configurations, and product typologies, turning the encounter between traditional knowledge and contemporary tools into a generative device within the design process.

During the fourth phase, digital design tools come into play and are used to translate the evidence and insights emerging from the workshops into increasingly defined product concepts: parametric modelling and digital visualisation allow the exploration of structural configurations derived from traditional weaving arrangements, enabling designers to verify the coherence between form, material behaviour, and realisation potential. Digital modelling also makes it possible to evaluate proportions, geometric arrangements, and possible production constraints before moving to physical prototyping, thereby performing a mediating function between craft experimentation and design verification. The fifth phase is dedicated to prototype development and production: on the basis of the work carried out in the previous phases, a series of experimental prototypes is produced through the joint work of design students and craft practitioners. This phase plays a crucial role, as it enables the research group to verify how traditional craft techniques can be adapted to contemporary product forms without compromising either structural integrity or material authenticity. Prototype production therefore makes observable the transition from material knowledge to its translation into design outcomes characterised by formal, constructive, and applicative coherence.

The concluding phase concerns project evaluation and refinement: the prototypes are analysed in relation to structural performance, aesthetic qualities, and their possible market impact. Observations and feedback from designers, craft practitioners, and potential users are then reinserted into subsequent iterations of the design process in order to guide the progressive improvement of the outcomes. Through this iterative evaluative device, the MDCD methodology enables the gradual refinement of products and helps ensure that the final results remain consistent with the objectives

of sustainable, culturally aware, and methodologically grounded design. Rather than restating the proposed model in abstract terms, the following sections test its robustness through three closely connected steps: material characterisation, co-design, and prototype development. It is in the relationship between these three moments that the methodological framework finds its operational verification, showing how the convergence of material intelligence, craft knowledge, and design practices can be translated into a process of innovation that is concretely observable and assessable.

**Material characterisation** | The material characterisation phase aims to systematically investigate the physical and mechanical properties of 'yan-lipao' in order to support its use in contemporary industrial design processes. Although this material is traditionally used in craft production, its structural behaviour has rarely been analysed through experimental procedures. For this reason, the present research relates the empirical knowledge of craft practitioners to controlled material testing and to a documentary apparatus capable of recording its performance and application potential more rigorously.

Characterisation begins with the preparation and hygrometric stabilisation of the samples: the 'yan-lipao' stems are collected, cleaned, dried, and transformed into fibres suitable for experimentation. The contribution of craft practitioners is decisive in identifying the most appropriate methods of cutting, opening, and preliminary treatment, while control procedures make it possible to obtain samples that are homogeneous in terms of size and moisture content. Mechanical tests measure the material's deformation behaviour and resistance to applied loads, integrating the empirical knowledge of craft practitioners with quantitative data. The study also considers bending, weaving, and structural interlacing operations, since the performance of artefacts depends both on the properties of individual fibres and on their interaction within different weaving configurations.

The analysis confirms some distinctive qualities of 'yan-lipao' – flexibility, lightness, and the capacity to generate complex curved structures – which



**Fig. 12** | Decorative mirror prototype integrating 'yan-lipao' weaving into a contemporary frame structure (credit: the Author, 2021).



**Fig. 13** | Lighting fixture prototype demonstrating the use of woven 'yan-lipao' for light diffusion and structural expression (credit: the Author, 2021).

suggest its use in applications attentive to structural resilience and aesthetic quality (Fig. 8). These data constitute the technical basis for the subsequent design exploration.

**Co-Creative Design Workshops** | The co-creative design workshops constitute a central phase of the research, as they enable direct interaction between industrial design students and craft practitioners. The workshops, in which a total of 10 industrial design students and 5 craft practitioners participated, operate as experimental contexts in which traditional craft knowledge, material exploration, and contemporary design methods converge, with the aim of fostering knowledge exchange and collaborative experimentation oriented towards translating indigenous materials into new product concepts.

Participants were selected on the basis of their experience in craft production and design practice, respectively. The workshop protocol was organised into several phases: material preparation, experimentation with weaving techniques, morphological exploration, and prototype development. Data were collected through direct observation, photographic documentation, and the recording of the different design iterations, while prototype evaluation was conducted according to predefined criteria including structural performance, usability, aesthetic quality, and market potential.

During the workshops, craft practitioners introduced participants to traditional 'yan-lipao' weaving techniques and demonstrated how the material is prepared, manipulated, and structurally organised within the craft production process. This tacit knowledge, developed through extensive practical experience, provides essential indications concerning the material's flexibility, strength, and operational limits. Observation and documentation of these practices allow designers to understand more deeply the relationship between material behaviour and processing techniques (Fig. 9).

Students integrated this knowledge with tools specific to contemporary design, including drawing, concept development, and digital modelling. The collaboration made it possible to explore new geometries, structural configurations, and product typologies starting from the intrinsic properties of 'yan-lipao', thereby reducing the distance between craft practice and industrial design. Digital modelling was introduced to translate the evidence emerging from physical experimentation into more

defined proposals, verifying proportions, geometric arrangements, and possible production constraints before prototyping (Fig. 10). The workshops therefore operate as devices for mutual learning and design selection: they identify configurative principles, workability thresholds, and typological hypotheses to be tested in the prototyping phase.

**Prototype development** | The prototype development phase translates the outcomes emerging from the co-design workshops into verifiable design solutions through the production of artefacts that show how 'yan-lipao' and traditional weaving techniques can be transferred into a contemporary design product. Starting from the concepts developed during the collaborative phase, a set of preliminary proposals was selected for further development on the basis of criteria relating to structural feasibility, formal quality, producibility, and the capacity to valorise the intrinsic properties of the material. Particular attention was also given to the possibility of adapting the logics of traditional weaving to contemporary product typologies without compromising the technical and cultural authenticity of craft knowledge.

During development, students and craft practitioners jointly defined construction details and production strategies. Through successive iterations, fibre density, structural patterns, and connection systems were calibrated until artefacts with stability, formal coherence, and adequate material-structural performance were obtained.

Prototype production required constant interaction between digital modelling and manual craft work. Digital modelling tools were used to verify proportions and geometric relationships, while the final material configurations were produced using traditional weaving techniques. This hybrid production process shows how contemporary design tools can support the reinterpretation of craft production methods without erasing their technical and cultural specificity. Figure 11 summarises the transition from conceptual sketches and digital models to physical prototypes. This phase provides the empirical basis for the subsequent comparative evaluation, in which the transferability of craft techniques is discussed in light of the outcomes produced and the limits identified.

**Results: product outcomes** | This section considers the prototypes as a field for the comparative

verification of the versatility of 'yan-lipao' and the effectiveness of the MDCD-based process. An initial evaluation indicates that the prototypes achieved coherent levels of structural stability and usability across the different configurations tested, with positive feedback from participants during the evaluation phase. The prototypes were examined on the basis of criteria relating to structural performance, aesthetic quality, usability, and market potential, providing a multidimensional assessment of their design configuration and application potential (n = 4).

In order to verify the versatility of the material and the effectiveness of the MDCD process, four representative product categories were identified: interior decoration, lighting, display supports, and personal accessories. Each prototype highlights specific structural and expressive properties of 'yan-lipao' weaving.

The first prototype is a decorative mirror in which woven 'yan-lipao' structures are integrated into a contemporary frame configuration. The design enhances the curvature and flexibility of the material while defining an image of lightness; the woven elements perform both a decorative function and a structural reinforcement function for the frame (Fig. 12). The second prototype explores the use of 'yan-lipao' in lighting design, where the weaving technique is used to produce a semi-transparent structure capable of diffusing light through the material; the product shows how the natural texture of 'yan-lipao' can generate distinctive lighting effects while maintaining adequate structural stability (Fig. 13).

The third prototype is a picture frame that highlights the decorative potential of traditional woven textures. Through the adaptation of craft techniques to a rigid support structure, the design shows how 'yan-lipao' weaving can be used in contemporary decorative objects without losing its cultural recognisability (Fig. 14). The fourth prototype is a bag, selected to test the material's adaptability to applications in fashion and accessory design; in this case, the structural flexibility of 'yan-lipao' allows the object to combine lightness and strength, while also demonstrating how traditional craft techniques can be transferred to products consistent with contemporary consumer markets (Fig. 15).

Taken together, the prototypes demonstrate the capacity of 'yan-lipao' weaving to be used across different product typologies, characterising their expressive registers. Rather than definitively

validating the framework, the prototypes define the conditions under which ‘yan-lipao’ weaving can be reinterpreted as a design resource and prepare the ground for the subsequent critical discussion.

**Discussion** | Interpretively, the results are not limited to confirming the adaptability of ‘yan-lipao’; they also show how this material can act as a mediator between material qualities, use configurations, and the construction of cultural value within contemporary industrial design processes. In this sense, the outcomes of the research are consistent with studies that recognise bio-based materials as having a significant role in sustainable product development and in design strategies oriented towards circularity.

One of the most significant results emerging from the research concerns the role of collaboration between industrial design students and craft practitioners. The co-design workshops activated a structured exchange of knowledge in which the tacit knowledge embedded in craft practices was interwoven with contemporary design methodologies and digital modelling tools. This collaborative model shows how traditional knowledge systems can contribute effectively to innovation processes, provided that they are brought within formalised and methodologically controlled design devices.

The study also highlights the relevance of material-driven design approaches in the development of sustainable products: when material properties are assumed as an organising factor of the design process, it becomes possible to explore formal and structural configurations that emerge directly from the behaviour of matter. In the case of ‘yan-lipao’, its flexibility and suitability for weaving enabled the production of artefacts that are both lightweight and endowed with adequate structural performance.

From a production perspective, the results suggest that traditional craft techniques can be adapted to contemporary production systems, provided that they are supported by appropriate design methodologies and suitable digital tools. Although craft production generally operates on a limited scale, the integration of design research and material experimentation can facilitate its transfer towards new product categories with greater market relevance. In this sense, the research outcomes also contribute to the debate on Industry 5.0, which places the integration of human creativity, cultural knowledge, and technological innovation at the centre of industrial systems. The hybrid approach proposed here shows how craft knowledge can

coexist with digital design processes, opening up new possibilities for forms of product innovation that are both sustainable and culturally aware. The prototypes developed also highlight the potential socioeconomic benefits of collaboration between craft and design. Extending the use of traditional materials to new production contexts can provide craft communities with access to new markets and additional economic opportunities; in parallel, designers can draw on specific material expertise and the cultural narratives of craft traditions, recognising them as active resources within the innovation process.

Some critical issues nevertheless remain: the adaptation of craft techniques to industrial contexts requires careful consideration of production scalability, quality control, and market acceptance. From this perspective, further research developments will need to explore strategies capable of integrating craft production networks into broader industrial supply chains while preserving the authenticity and cultural value of traditional practices. Overall, the results indicate that the integration of craft knowledge, bio-based materials, and contemporary design methods can support the development of innovative products consistent with both the principles of sustainability and a human-centric vision of industrial development.

**Synergies and trade-offs in relation to the SDGs**

| In light of the results discussed, the relationship with the SDGs cannot be understood as a merely declarative alignment; rather, it must be read as a verification of the operational impacts of the proposed model. In particular, the HCIF and the MD-CD-based process show a clear convergence with SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure) and SDG 8 (Decent Work and Economic Growth), which constitute the thematic focus of this journal issue.

The contribution to SDG 9 emerges from the definition of a methodology that integrates bio-based materials, craft knowledge, and industrial design practices. The sequence of material experimentation, co-design, and prototyping shows how local resources can generate opportunities for product innovation, connecting cultural heritage and industrial development. With respect to SDG 8, the study highlights the role of craft communities in innovation processes and the possibility of opening new professional and income opportunities through structured partnerships with designers and educational institutions. The synergies with SDG 12 and SDG 13 derive from the use of a natural

and renewable material, the valorisation of localised supply chains, and the potential reduction of dependence on synthetic materials and high-impact supply chains. These effects must nevertheless be verified case by case, since interactions between SDGs can generate both positive outcomes and operational trade-offs (Bai et alii, 2024).

Some critical elements and trade-offs nevertheless remain: a first issue concerns the scalability of craft production. While traditional techniques incorporate cultural knowledge and materials of considerable value, they are often characterised by limited production capacity. Expanding production without losing authenticity and executive quality therefore requires careful coordination between designers, craft practitioners, and potential industrial partners.

A second aspect concerns the relationship between market expectations and product standardisation. Industrial production generally requires consistent quality, reproducibility, and economic efficiency, whereas craft processes tend to embrace variability and the specificity of manual making as integral parts of the artefact’s value. Future research developments will need to examine strategies capable of balancing these different logics through hybrid production models in which craft skills are integrated with adequate technological support. It follows that the contribution to the SDGs is neither linear nor automatic: it depends on the project’s capacity to balance material identity, environmental sustainability, market access, and the robustness of local supply chains. On this terrain, the HCIF and MDCD function as orienting tools, while leaving open questions relating to scalability and economic feasibility.

**Limits, Future Developments, and Conclusions**

| Although the present research underlines the potential of integrating locally available bio-based materials and traditional craft knowledge into contemporary industrial design, some limitations should be made explicit. First, the experimentation was conducted within a circumscribed research context, defined around a single material, ‘yan-lipao’, and the involvement of a specific group of craft practitioners. While this approach makes it possible to reconstruct with precision the interaction between craft knowledge and industrial design processes, it does not justify an immediate extension of the results to all craft traditions or bio-based materials.



Fig. 14 | Picture frame prototype highlighting the decorative potential of traditional ‘yan-lipao’ weaving patterns (credit: the Author, 2021).



Fig. 15 | Carry bag prototype illustrating the application of ‘yan-lipao’ material in fashion and accessory design (credit: the Author, 2021).

A second limitation concerns the prototype development phase, which was primarily oriented towards the exploration of design outcomes rather than the verification of large-scale production feasibility. The study suggests that craft techniques can be reinterpreted and adapted to the development of contemporary products; however, further investigation is needed to understand the extent to which these processes can operate in broader and more structured industrial contexts. From this perspective, future research could focus on the analysis of hybrid production models capable of combining craft-based processes with adequate technological support, thereby increasing production capacity without compromising the cultural value and technical specificity of traditional practices.

A further limitation concerns market validation: although the prototypes developed show significant aesthetic and structural potential, more ex-

tensive experimentation, conducted on a larger sample of users and sector stakeholders, would be required to assess their effective long-term commercial sustainability. In this sense, subsequent research developments should include more articulated forms of use evaluation, life-cycle assessment, and economic feasibility testing, in order to clarify more precisely the operational implications of integrating craft materials into industrial design markets. Similarly, later studies could apply the HCIF and MDCD process to other local materials and other craft traditions in different geographical contexts, in order to verify the transferability of the proposed framework and contribute further to the development of sustainable and human-centric design strategies.

Within these limits, the research demonstrates that 'yan-lipao' can assume a significant design role when craft knowledge is integrated with sys-

tematic testing, co-design, and prototype development. The results clarify the material's potential without generalising beyond the case analysed. More broadly, the article assigns Design a mediating function between material systems, cultural knowledge, and industrial innovation. The HCIF and MDCD process offer a transferable conceptual and methodological basis to be verified in further geographical, material, and production contexts.

## Acknowledgements

The Author gratefully acknowledges the financial and institutional support provided by the Plant Genetic Conservation Project under the Royal Patronage of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (PGCP) for the fiscal year 2020, Walailak University.

The Author also wishes to express sincere appreciation to local artisans, community members, industrial design students, designers, and all stakeholders involved in the co-creative process, whose knowledge, skills and collaborative engagement were essential to the development of this research. Their contributions have been instrumental in advancing the integration of traditional craft materials into contemporary industrial design practices, supporting the development of innovative and sustainable Industry 5.0 products.

## References

Ashby, M. F. (2012), *Materials and the Environment – Eco-informed Material Choice*, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Bai, L., Wang, X., Zhang, L., Feng, J., Liao, J., Chen, B., Wang, P. and Zhang, X. (2024), "A systematic study of interactions between sustainable development goals (SDGs) in Hainan Island", in *Scientific Reports*, vol. 14, article 26613, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41598-024-77984-5 [Accessed 19 March 2026].

Binder, T., Brandt, E., Ehn, P. and Halse, J. (2015), "Democratic design experiments – Between parliament and laboratory", in *CoDesign | International Journal of Co-Creation in Design and the Arts*, vol. 11, issue 3-4, pp. 152-165. [Online] Available at: doi.org/10.1080/15710882.2015.1081248 [Accessed 19 March 2026].

Björgvinsson, E., Ehn, P. and Hillgren, P.-A. (2012), "Design things and design thinking – Contemporary participatory design challenges", in *Design Issues*, vol. 28, issue 3, pp. 101-116. [Online] Available at: doi.org/10.1162/DESI\_a\_00165 [Accessed 19 March 2026].

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C. and van der Grinten, B. (2016), "Product design and business model strategies for a circular economy", in *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 33, issue 5, pp. 308-320. [Online] Available at: doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124 [Accessed 19 March 2026].

Bruijn, H., Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Guinee, J. B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A., Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S. and Udo de Haes, H. A. (eds) (2002), *Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISO Standards*, Springer,

Dordrecht. [Online] Available at: doi.org/10.1007/0-306-48055-7 [Accessed 19 March 2026].

Correa, D., Bianconi, F., Filippucci, M. and Pelliccia, G. (2023), "Pattern modulari nel design igroscopico con stampa 4D – Forma e programmazione del materiale | Modular patterns in hygroscopic 4D printing design – Form and programming of the material", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 264-273. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14222023 [Accessed 19 March 2026].

Crippa, V., Rognoli, V. and Levi, M. (2012), "Materials and emotions – A study on the relations between materials and emotions in industrial products", in Brassett, J., Hekkert, P., Ludden, G., McDonnell, J. and Malpass, M. (eds), *Out of Control – Book of Abstracts – Proceedings of 8th International Design and Emotion Conference, Central Saint Martins University of Art & Design, London, England, September 11-14, 2012*, Central Saint Martins University of the Arts, London, pp. 1-8. [Online] Available at: researchgate.net/publication/287477143\_Materials\_and\_emotions\_A\_study\_on\_the\_relations\_between\_materials\_and\_emotions\_in\_industrial\_products [Accessed 10 March 2026].

Dal Falco, F. and Al Azhari, O. (2024), "Complessità e significati del mashrabiya nelle arti islamiche tra tradizione e innovazione digitale | Complexity and meanings of the mashrabiya in the Islamic arts between tradition and digital innovation", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 290-303. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16242024 [Accessed 19 March 2026].

EMF – Ellen MacArthur Foundation (2013), *Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition*. [Online] Available at: content.ellenmacarthurfoundation.org/m/27265af68f11ef30/original/Towards-the-circular-economy-Vol-1.pdf [Accessed 19 March 2026].

European Commission – Directorate General for Research and Innovation (2021), *Industry 5.0 – Towards a Sustainable, Human-centric and Resilient European Industry*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2777/308407 [Accessed 19 March 2026].

Gaddi, R. and Mastrolonardo, L. (2024), "Micro-reti locali per la transizione verde della filiera della lana | Local micro-networks for green transition of the wool supply chain", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 344-353. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15292024 [Accessed 19 March 2026].

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P. and

Hultink, E. J. (2017), "The Circular Economy – A new sustainability paradigm?", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 757-768. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048 [Accessed 19 March 2026].

Ghobakhloo, M., Amoozad Mahdiraji, H., Iranmanesh, M. and Jafari-Sadeghi, V. (2024), "From Industry 4.0 Digital Manufacturing to Industry 5.0 Digital Society – A Roadmap Toward Human-Centric, Sustainable, and Resilient Production", in *Information Systems Frontiers | A Journal of Research and Innovation*, vol. 26, issue 1, pp. 1-33. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10796-024-10476-z [Accessed 19 March 2026].

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Mubarak, M. F., Mubarak, M., Rejeb, A. and Nilashi, M. (2022), "Identifying industry 5.0 contributions to sustainable development – A strategy roadmap for delivering sustainability values", in *Sustainable Production and Consumption*, vol. 33, pp. 716-737. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.003 [Accessed 19 March 2026].

Giaccardi, E. and Karana, E. (2015), "Foundations of materials experience – An approach for HCT", in Brown, D. and Kim, J. (eds), *CHI 2015 – Proceedings of the 33rd Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Seoul, Republic of Korea, April 18-23, 2015*, Association for Computing Machinery, New York, NY, pp. 2447-2456. [Online] Available at: doi.org/10.1145/2702123.2702337 [Accessed 19 March 2026].

Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D. and Wang, L. (2022), "Industry 5.0 and Society 5.0 – Comparison, complementation and co-evolution", in *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 64, pp. 424-428. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010 [Accessed 19 March 2026].

ISO – International Organization for Standardization (2006a), *ISO 14040:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, International Organization for Standardization, Geneva. [Online] Available at: iso.org/standard/37456.html [Accessed 19 March 2026].

ISO – International Organization for Standardization (2006b), *ISO 14044:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, International Organization for Standardization, Geneva. [Online] Available at: iso.org/standard/38498.html [Accessed 19 March 2026].

Ivanov, D. (2023), "The Industry 5.0 framework – Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives", in *International Journal of Production Research*, vol. 61, issue 5, pp. 1683-1695. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892 [Accessed 19 March 2026].

- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V. and Zeeuw van der Laan, A. (2015), "Material Driven Design (MDD) – A method to design for material experiences", in *International Journal of Design*, vol. 9, issue 2, pp. 35-54. [Online] Available at: [ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1965](http://ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1965) [Accessed 19 March 2026].
- Karana, E., Pedgley, O. and Rognoli, V. (eds) (2014), *Materials Experience – Fundamentals of Materials and Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Kirchherr, J., Reike, D. and Hekkert, M. (2017), "Conceptualizing the circular economy – An analysis of 114 definitions", in *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 127, pp. 221-232. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005) [Accessed 19 March 2026].
- Lloyd, P. (2017), "From design methods to future-focused thinking – 50 years of design research", in *Design Studies*, vol. 48, pp. A1-A8. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.destud.2016.12.004](https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.12.004) [Accessed 19 March 2026].
- Luckman, S. (2015), *Craft and the Creative Economy*, Palgrave Macmillan, London. [Online] Available at: [doi.org/10.1057/9781137399687](https://doi.org/10.1057/9781137399687) [Accessed 19 March 2026].
- Maffei, S., Bolzan, P., Bianchini, M., Zeccara, F., Barbero, S., Campagnaro, C., Di Prima, N., Filippini, A., Pugielli, M., Rosato, L., Lotti, G. and Pontillo, G. (2024), "Svelare la complessità della transizione circolare per il settore del mobile imbottito | Unveiling the complexity of circular transition for the upholstered furniture sector", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 304-313. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/16252024](https://doi.org/10.19229/2464-9309/16252024) [Accessed 19 March 2026].
- Manzini, E. (2015), *Design, When Everybody Designs – An Introduction to Design for Social Innovation*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle to Cradle – Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, New York (NY).
- Morpurgo, E. (2024), "Biomateriali e zone umide – Filiere per l'edilizia e il tessile dalla valorizzazione di ecosistemi locali | Biomaterials and wetlands – Supply chains for construction and textiles through the enhancement of local ecosystems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 314-323. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/16262024](https://doi.org/10.19229/2464-9309/16262024) [Accessed 19 March 2026].
- Olivastri, C. and Tagliascio, G. (2024), "Servizi per il riuso e il riparo – L'allestimento tra touchpoints e infrastrutture relazionali | Services for reuse and repair – The arrangement between touchpoints and relational infrastructures", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 324-331. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/15272024](https://doi.org/10.19229/2464-9309/15272024) [Accessed 19 March 2026].
- Osello, A., Del Giudice, M., Donato, A. J. and Fratto, A. (2024), "Verso la Neutralità Climatica – Il ruolo chiave del Digital Twin nell'Industria 5.0 | Towards Climate Neutrality – The key role of the Digital Twin in Industry 5.0", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 276-285. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/15222024](https://doi.org/10.19229/2464-9309/15222024) [Accessed 19 March 2026].
- Pedgley, O. (2014), "Chapter 24 – Materials Selection for Product Experience – New Thinking, New Tools", in Karana, E., Pedgley, O. and Rognoli, V. (eds), *Materials Experience – Fundamentals of Materials and Design*, pp. 337-349. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/B978-0-08-099359-1.00024-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099359-1.00024-2) [Accessed 19 March 2026].
- Pietroni, L., Di Stefano, A. and Galloppo, D. (2023), "Il design modulare verso l'economia circolare – Dal 'fare per disfare' al 'fare per rifare' | Modular design towards the circular economy – From 'making to unmake' to 'making to remake'", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 274-283. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/14232023](https://doi.org/10.19229/2464-9309/14232023) [Accessed 19 March 2026].
- Porfirione, C., Ferrari Tumay, X. and Leggiero, I. (2024), "Conoscenza, innovazione e cambiamento – Il potere dell'errore nel design e nei sistemi complessi | Knowledge, innovation, and change – The power of error in design and complex systems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 232-241. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/16202024](https://doi.org/10.19229/2464-9309/16202024) [Accessed 19 March 2026].
- Pradhan, P., Weitz, N., Daioglou, V., Abrahão, G. M., Allen, C., Ambrósio, G., Arp, F., Asif, F., Bennich, T., Benton, T. G., Biermann, F., Cao, M., Carlsen, H., Chen, F., Chen, M., Daams, M., Dawes, J. H. P., Dhakal, S., Gilmore, E., González, L. J. M., Hubacek, K., Hu, Y., Jager, W., Samir, K. C., Kearney, N. M., Khot, U. A., Kluck, T., Kulkarini, S., Leininger, J., Li, C., Li, J., Lotze-Campen, H., Parado-Hernando, G., Pedercini, M., Phuyal, R. K., Prell, C., Rijal, A., Schweizer, V., Sijtsma, F. J., Soergel, B., Spittler, N., van Vuuren, D., Warchold, A., Weber, E., Wicke, B., Widerberg, O., Wilts, R., Wingens, C., Wu, C., Xing, Q., Yan, J., Yuan, Z., Zhou, X. and Zimm, C. (2024), "Three foci at the science-policy interface for systemic Sustainable Development Goal acceleration", in *Nature Communications*, vol. 15, article 8600, pp. 1-4. [Online] Available at: [doi.org/10.1038/s41467-024-52926-x](https://doi.org/10.1038/s41467-024-52926-x) [Accessed 19 March 2026].
- Rognoli, V. (2010), "A broad survey on expressive-sensorial characterization of materials for design education", in *METU | Journal of the Faculty of Architecture*, vol. 27, issue 2, pp. 287-300. [Online] Available at: [doi.org/10.4305/METU.JFA.2010.2.16](https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2010.2.16) [Accessed 19 March 2026].
- Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S. and Karana, E. (2015), "DIY materials", in *Materials and Design*, vol. 86, pp. 692-702. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020) [Accessed 19 March 2026].
- Sanders, E. B.-N. and Stappers, P. J. (2008), "Co-creation and the new landscapes of design", in *CoDesign | International Journal of CoCreation in Design and the Arts*, vol. 4, issue 1, pp. 5-18. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/15710880701875068](https://doi.org/10.1080/15710880701875068) [Accessed 19 March 2026].
- Sennett, R. (2008), *The Craftsman*, Yale University Press, New Haven (CT).
- Spinuzzi, C. (2005), "The methodology of participatory design", in *Technical Communication*, vol. 52, issue 2, pp. 163-174. [Online] Available at: [ingentaconnect.com/contentone/stc/tc/2005/00000052/00000002/art00005](http://ingentaconnect.com/contentone/stc/tc/2005/00000052/00000002/art00005) [Accessed 19 March 2026].
- Sposito, C. and De Giovanni, G. (2023), "Affrontare la complessità – Integrare LCA, ERA ed ESA per valutare impatti e benefici antropici sulla biosfera | Dealing with complexity – Integrating LCA, ERA and ESA to assess human impacts and benefits on the biosphere", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 12-39. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/1412023](https://doi.org/10.19229/2464-9309/1412023) [Accessed 19 March 2026].
- Steen, M. (2013), "Co-design as a process of joint inquiry and imagination", in *Design Issues*, vol. 29, issue 2, pp. 16-28. [Online] Available at: [doi.org/10.1162/DESI\\_a\\_00207](https://doi.org/10.1162/DESI_a_00207) [Accessed 19 March 2026].
- Turner, C. and Oyekan, J. (2023), "Manufacturing in the Age of Human-Centric and Sustainable Industry 5.0 – Application to Holonic, Flexible, Reconfigurable and Smart Manufacturing Systems", in *Sustainability*, vol. 15, issue 13, article 10169, pp. 1-29. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su151310169](https://doi.org/10.3390/su151310169) [Accessed 19 March 2026].
- UN – United Nations | Department of Economic and Social Affairs (2024), *Synergy Solutions for Climate and SDG Action – Bridging the Ambition Gap for the Future We Want – Report on strengthening evidence base*, United Nations, New York (NY). [Online] Available at: [sdgs.un.org/sites/default/files/2024-08/UN%20Synergy%20Solutions%20for%20Climate%20and%20SDG%20Action-4\\_0.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2024-08/UN%20Synergy%20Solutions%20for%20Climate%20and%20SDG%20Action-4_0.pdf) [Accessed 19 March 2026].
- UNEP – United Nations Environment Programme (2023), *Turning off the Tap – How the world can end plastic pollution and create a circular economy*, UNEP, Nairobi. [Online] Available at: [wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/42277](https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/42277) [Accessed 19 March 2026].
- Valenti, A., Trimarchi, A. and Farresin, S. (2023), "Design e pensiero ecologico – Le nuove narrative del progetto contemporaneo che mettono la Terra in primo piano | Design and ecological thinking – The new narratives of contemporary design placing Earth on centre stage", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 19-30. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/1312023](https://doi.org/10.19229/2464-9309/1312023) [Accessed 19 March 2026].
- Verganti, R. (2009), *Design-Driven Innovation – Changing the Rules of Competition by Radically Innovating What Things Mean*, Harvard Business Press, Boston (MA).
- Yitmen, I., Alizadehsalehi, S. and Almuased, A. (2023), "Investigating the casual relationships among enablers of the construction 5.0 paradigm – Integration of Operator 5.0 and Society 5.0 with Human-Centric Smart Production and Logistics", in *Sustainability*, vol. 15, issue 11, article 9105, pp. 1-25. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su15119105](https://doi.org/10.3390/su15119105) [Accessed 19 March 2026].
- Zannoni, M., Succini, L., Rosato, L. and Pasini, V. (2024), "Transitional industrial designer – La responsabilità di progettisti e imprese per una transizione sostenibile | Transitional industrial designer – The responsibility of designers and companies for a sustainable transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 332-343. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/15282024](https://doi.org/10.19229/2464-9309/15282024) [Accessed 19 March 2026].
- Zizic, M. C., Mladineo, M., Gjeldum, N. and Celent, L. (2022), "From Industry 4.0 towards Industry 5.0 – A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology", in *Energies*, vol. 15, issue 14, article 5221, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/en15145221](https://doi.org/10.3390/en15145221) [Accessed 19 March 2026].