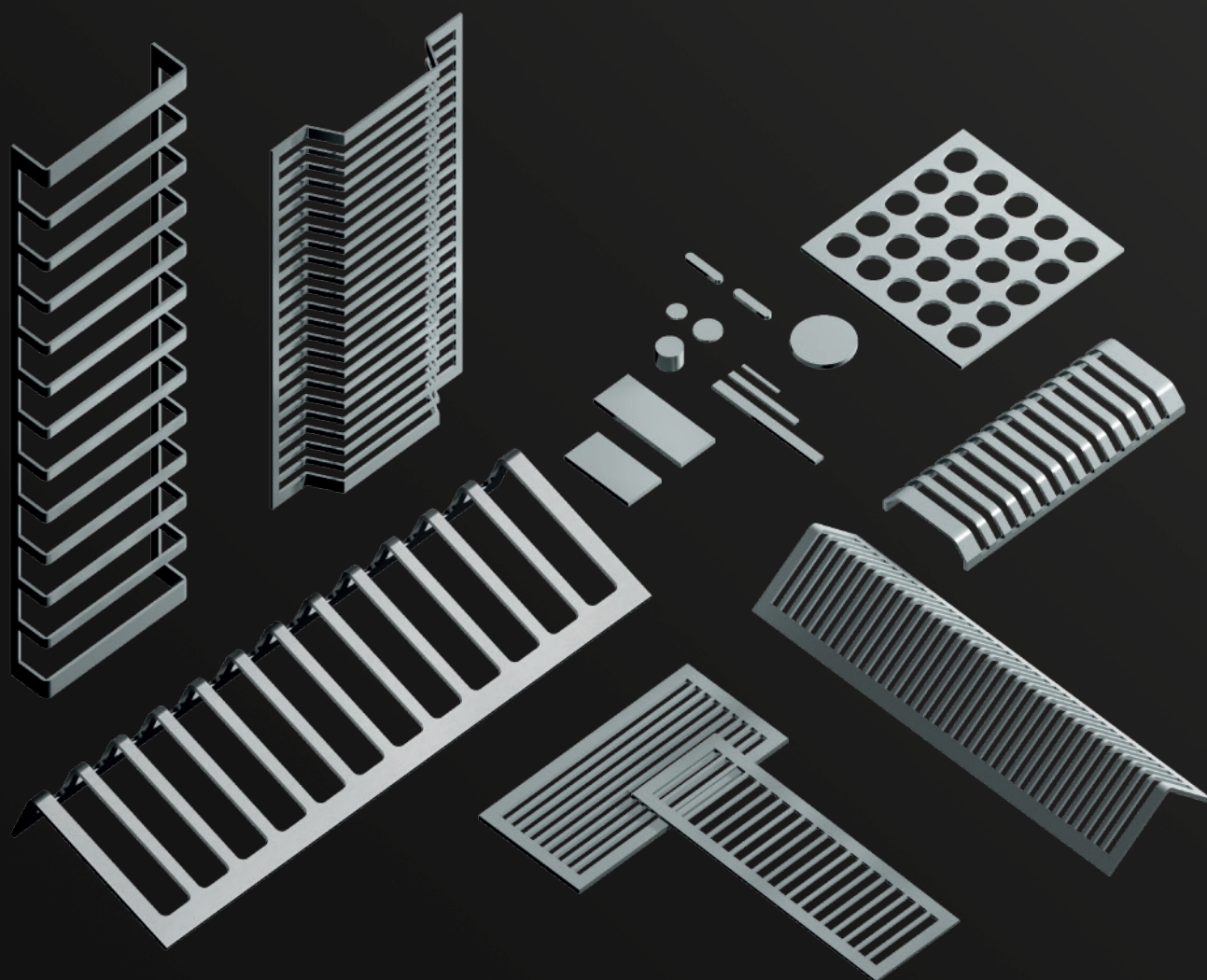


Progettare lo sfrido

Una strategia per il riutilizzo
sistematico dei residui del taglio
laser di lamiere metalliche





**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Design e Comunicazione Visiva

A.a 2025/2026

Sessione di Laurea Luglio 2026

Progettare lo sfrido

Una strategia per il riutilizzo sistematico dei residui
del taglio laser di lamiere metalliche

Relatore:

Cristian CAMPAGNARO

Candidato:

Lorenzo FRATICELLI

Abstract

La crescente necessità di adempiere alle normative e ai modelli economici sostenibili, conformi con i principi dell'economia circolare, sta spingendo il settore manifatturiero a ripensare le proprie strategie di produzione, nell'ottica di valorizzazione delle risorse e riduzione degli sprechi lungo l'intero ciclo di vita dei materiali. In questo contesto, la tesi indaga il tema del riutilizzo degli sfridi derivanti dal taglio laser di lamiere metalliche, una tipologia di scarto generalmente destinata al riciclo e raramente considerata come risorsa di per sé. La ricerca propone un sistema progettuale basato sulla modifica a monte degli sfridi tradizionali, durante la fase di nesting, con l'obiettivo di generare contemporaneamente un prodotto primario ed un semilavorato secondario derivato, caratterizzato da perforazioni. Attraverso questa strategia, il materiale di scarto torna ad essere risorsa, idoneo ai successivi processi di valorizzazione. La tesi analizza le implicazioni tecniche, economiche e di sostenibilità ambientale di tale approccio, individuando criteri per la progettazione e opportunità di riutilizzo dei nuovi semilavorati. Come caso studio, la ricerca si concentra sulla progettazione di una collezione di lampade che

utilizzano i perforati metallici ottenuti come paralume. Il sistema proposto dimostra la possibilità di introdurre pratiche di economia circolare all'interno di processi industriali esistenti e favorisce nuove opportunità e spunti di innovazione sostenibile nel settore della lavorazione della lamiera.

0. Introduzione	1
1. Vibel Group	2
1.1 L'azienda	4
1.2 Prodotti	4
1.3 Processo produttivo	5
1.3.1 Modellazione 3D	6
1.3.2 Nesting	7
1.3.3 Taglio laser	7
1.3.4 Piegatura	9
1.3.5 Lavorazioni ulteriori	10
1.4 Residui di lavorazione	12
2. Dallo scarto al semilavorato	16
2.1 Economia circolare	18
2.2 Produzione e riciclaggio del metallo	19
2.2.1 I limiti del riciclaggio del metallo	24
2.3 Upcycling	25
2.3.1 Casi studio	26
2.4 Sfridi del taglio laser di lamiera	29
2.4.1 Lo sfrido tradizionale	29
2.4.2 Caratteristiche fisiche dello sfrido	30
2.4.3 Selezione dello sfrido	31
2.5 Lo sfrido indotto	32
2.5.1 Obiettivo	32
2.5.2 Procedimento operativo	32
2.5.3 Potenzialità, limiti e condizioni di applicabilità del metodo	34
2.6 Categorie di reimpiego	38

3. Proposta progettuale	42
3.1 Paralumi	44
3.2 Lampade	44
3.2.1 Requisiti	44
3.2.2 Selezione delle minuterie	45
3.2.3 Sperimentazioni su carta	46
3.2.4 I concept e i render	48
3.2.5 Sviluppi dei paralumi	60
4. Analisi della sostenibilità	62
4.1 Metodo di analisi	64
4.1.1 Analisi della sostenibilità ambientale	64
4.1.2 Analisi della sostenibilità economica	72
4.2 Interpretazione dei risultati	73
5. Conclusioni	77
5.1 Sviluppi futuri	77
6. Sitografia e crediti fotografici	78
7. Ringraziamenti	81

Introduzione

Durante il periodo di tirocinio ho avuto l'opportunità di conoscere e collaborare con l'azienda di carpenteria metallica Vibel Group, osservandone da vicino l'organizzazione e le dinamiche di produzione nella loro interezza. Da subito ricordo di essere stato colpito dagli sfridi del taglio laser raccolti all'interno di grandi cassoni di metallo e destinati al riciclo, contraddistinti da configurazioni geometriche ben definite e ordinate. Inizialmente ne raccolsi alcuni campioni da poter utilizzare in miei futuri progetti personali, solo in un secondo momento, osservandone la cadenza di produzione e la varietà morfologica, ho realizzato la potenzialità di un loro riutilizzo sistematico, tema approfondito all'interno di questa tesi.



A high-contrast, black and white photograph of a person in a protective suit and helmet, likely a firefighter or industrial worker. The person is wearing a white protective suit with a logo on the sleeve that reads "SAFETY PROTECTION", "www.gorham.com", "4144 X", "SIZE: 10", and "Code 9065". The person is holding a tool, possibly a wrench, and is surrounded by sparks and smoke. A red banner is overlaid on the image, containing the text "VIBEL GROUP" in white, bold, sans-serif capital letters.

VIBEL GROUP

L'AZIENDA

Vibel Group è un'azienda di carpenteria metallica torinese, con sede operativa a Nichelino e fondata nel 1979. Si tratta di una realtà dinamica guidata da Claudio Rizzolo assieme al figlio Gianluca, dove il saper fare artigianale si integra con macchinari all'avanguardia e con i processi produttivi propri dell'Industria 4.0. Questo connubio garantisce volumi di produzione attorno alle 300 tonnellate di materiale l'anno e progetti sviluppati sulle specifiche esigenze di ogni cliente.

PRODOTTI

L'azienda è specializzata nella **progettazione e produzione di componenti e sistemi ottenuti dalla lavorazione di lamiere metalliche**. In misura minore vengono realizzati componenti derivanti dal taglio e lavorazione di tubolari metallici. I materiali trattati principalmente sono il ferro e l'acciaio, nonostante ciò vengono lavorati anche l'alluminio, il rame, l'ottone ed il titanio. Questi metalli si presentano appunto sotto forma di lamiere, ovvero lastre piane, e all'interno dell'azienda possono raggiungere dimensioni di 3 x 1,5 metri e spessori fino a 25 millimetri per l'acciaio al carbonio (ferro) e

15 millimetri per l'acciaio inossidabile.

Componenti

Tra i prodotti realizzati, circa l'80% corrisponde a singoli componenti prodotti in serie. Le caratteristiche di questi prodotti possono essere molto differenti tra loro, da manufatti di piccole dimensioni e piatti a unità di grandi dimensioni con configurazioni tridimensionali complesse, ottenute tramite piegature. Tutti i componenti di dimensioni ridotte, che presentino o meno piegature, sono raggruppabili all'interno della macro-categoria denominata **minuterie metalliche**; fanno parte di questa categoria oggetti come: rondelle, staffe, astine, collari, boccole, placche etc.

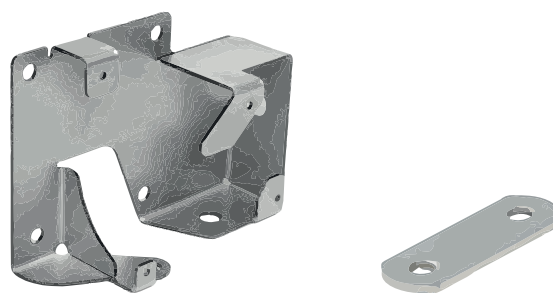


Fig. 1.1 Esempi di componenti

Sistemi complessi

Il rimanente 20% circa della produzione aziendale è costituito da sistemi, ovvero gruppi di prodotti assemblati, anch'essi molto variabili per caratteristiche e dimensioni: da piccoli prodotti bi-componente ad assiemi complessi di grandi dimensioni composti da decine, se non centinaia, di pezzi. Tra i prodotti più ricorrenti di quest'ultima tipologia troviamo: strutture portanti, espositori, scatolati e componenti di arredo.

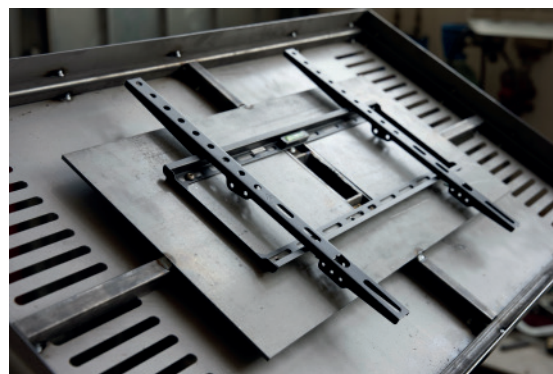


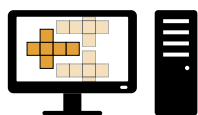
Fig. 1.2 Esempio di sistema complesso

PROCESSO PRODUTTIVO

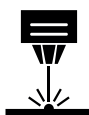
Che si tratti di componenti apparentemente semplici o di sistemi composti da molteplici unità, le prime fasi del processo di produzione rimangono invariate; successivamente, in base alle caratteristiche del pezzo, possono essere necessarie una serie di lavorazioni aggiuntive specifiche.



Modellazione 3D



Nesting



Taglio laser



Piegatura



Lavorazioni aggiuntive

MODELLAZIONE 3D

Il primo step esecutivo della produzione è la modellazione 3D dei componenti. Durante questa fase vengono definite con precisione la forma, le dimensioni, il materiale e le eventuali modalità di assemblaggio del prodotto. Nel settore della carpenteria metallica sono particolarmente adatti software di modellazione CAD parametrici, come ad esempio Autodesk Inventor; per software parametrico si intende un programma in grado di modellare basandosi su algoritmi, ciò permette di apportare modifiche ai componenti in corso d'opera, senza doverli necessariamente ridisegnare da zero, inoltre programmi di questo tipo sono particolarmente efficienti nella realizzazione e nella gestione di assiemi complessi. Ciò che rende però essenziale un software come Autodesk Inventor, per un'azienda come la Vibel Group, è la presenza di un **ambiente nativo dedicato alla progettazione e lavorazione di componenti derivati da lamiera metallica**. Questa caratteristica **permette di realizzare modelli 3D piegati e di ricavarne velocemente lo sviluppo piatto**, tenendo in considerazione il fattore di ritiro del materiale "K", il quale varia in base al tipo di materiale e allo stampo che si andrà ad utilizzare [1.1].

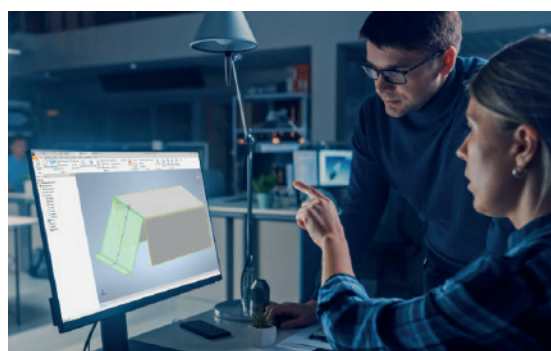


Fig. 1.3 Modellazione 3D

NESTING

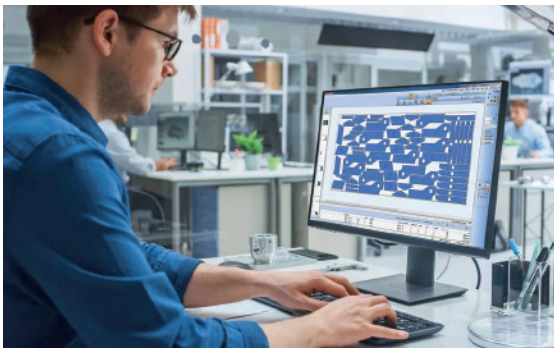


Fig. 1.4 Nesting

Lo sviluppo piatto ottenuto nella fase di modellazione è il punto di partenza della fase produttiva successiva, il nesting. Questo processo consiste nel creare le strutture nidificate ("nest"), ovvero la disposizione digitale dei componenti all'interno della lamiera selezionata. L'obiettivo primario è quello di sfruttare al meglio la superficie disponibile, massimizzando il numero di pezzi sulla lamiera e riducendo quindi al minimo la quantità di scarto. I software utilizzati per questa fase sono definiti CAM (Computer Aided Manufacturing) e sono in grado di elaborare il "codice G", il quale guiderà la macchina a controllo numerico computerizzato (CNC) durante le diverse operazioni. I programmi per il nesting più sofisticati sono in grado inoltre di gestire e monitorare l'inventario aziendale ottimizzando l'utilizzo di materiale a seconda dei pezzi che si vanno a produrre [1.2].

TAGLIO LASER

Quasi tutte le produzioni della Vibel iniziano concretamente con il taglio laser dei componenti. Il processo ha inizio posizionando la lamiera selezionata all'interno della macchina. Piccole sezioni di materiale possono essere caricate manualmente, ma per lamiere di grandi dimensioni e con spessori elevati diventa necessario

l'utilizzo del carrello elevatore e sfruttare il magazzino a torre. Quest'ultimo sistema è collegato direttamente alla macchina di taglio ed è in grado di automatizzare le fasi di carico, scarico e stoccaggio delle lamiere, processi che altrimenti richiederebbero l'intervento umano, allungando i tempi ed introducendo la possibilità di errori [1.3]. Una volta caricato il materiale all'interno della macchina e posizionato sulle griglie di appoggio, si procede alla calibrazione della testa e all'impostazione della macchina, tramite il terminale apposito, affinché esegua il codice G generato durante la fase di nesting. Una volta completate queste operazioni ha inizio la fase di taglio laser, la quale **sfrutta un fascio di luce ad altissima energia** per separare due parti di lamiera metallica. Il raggio di luce viene concentrato attraverso una lente e focalizzato su un punto della superficie metallica, in quella piccola sezione di lamiera l'energia è **così intensa da fondere istantaneamente il materiale**. Durante il taglio viene emesso inoltre un getto di gas ad alta pressione, questo può essere azoto, ossigeno o aria compressa, in base al materiale da lavorare, ed ha l'obiettivo di rimuovere i residui di metallo fusi lasciando un bordo di taglio omogeneo [1.4]. **Esistono due principali tecnologie applicate ai macchinari di taglio laser per il metallo, il laser fibra ed il laser CO2.** La prima tipologia è un sistema più moderno e sfrutta



Fig. 1.5 Macchinario di taglio fibra e magazzino a torre

una fibra attiva per generare e trasportare il raggio alla testa di taglio. Questa tecnologia garantisce diversi vantaggi: un miglior assorbimento energetico, una maggiore velocità di taglio, che si traduce in minori costi di esercizio, un rendimento elettrico fino a cinque volte più efficiente rispetto alla controparte a CO₂, ma anche una minore manutenzione e la possibilità di lavorare materiali altamente riflettenti come il rame e l'ottone [1.5]. Il laser a CO₂ genera il raggio a partire da una miscela di gas a base di anidride carbonica, questa tipologia di laser a differenza del laser fibra può tagliare anche materiali non metallici. Nel caso specifico la Vibel dispone di entrambe le tipologie di macchinari, quello con tecnologia fibra è utilizzato per la maggior parte della produzione mentre quello con tecnologia CO₂ viene utilizzato quasi esclusivamente qualora il primo sia occupato e ci sia la necessità di mandare avanti velocemente la produzione.



Fig. 1.6 Macchina piegatrice

PIEGATURA

Per i pezzi che lo necessitano, l'azienda Vibel dispone di tre presse piegatrici in grado di deformare a freddo lamiere anche di grandi dimensioni e spessori. Si tratta di uno dei processi di lavorazione della lamiera più antichi, di cui i primi macchinari risalgono a metà dell'ottocento. Le macchine odierne sono in grado di

ottenere pieghe ripetibili e con standard di precisione molto elevati, il procedimento alla base è rimasto però pressoché invariato: la lamiera viene posizionata su di una matrice, la quale può presentare forme diverse in base al risultato che si vuole ottenere, successivamente il punzone viene calato sulla lamiera ed applicando una pressione costante deforma il materiale oltre il suo limite elastico, attorno alla matrice. Una volta effettuata la piega il materiale tende a tornare alla sua forma originale nell'ordine di circa due gradi, pertanto è necessario compensare questo ritorno stringendo leggermente l'angolo di piega rispetto a quello finale che si vuole ottenere [1.6]. Un'altra tipologia di piegatura che si effettua all'interno dell'azienda è la **calandratura**, anch'essa è un processo di formatura a freddo e sfrutta un macchinario composto da tre rulli, due inferiori ed uno superiore regolabile in altezza. La lamiera viene quindi fatta passare attraverso i rulli, i quali, applicando su di essa una forte pressione, la deformano secondo un raggio di curvatura costante, determinato dalla forza applicata dai rulli [1.7].

LAVORAZIONI ULTERIORI

Nelle fasi finali di produzione, in base alle esigenze, possono essere necessarie una serie di lavorazioni, queste a differenza del taglio laser e della piegatura, sono operazioni più manuali e che



Fig. 1.7 Calandra

richiedono strumenti e macchine meno ingombranti. Innanzitutto i componenti che vanno assemblati subiscono una serie di **lavorazioni preparatorie**:

- **Svasatura**: operazione con cui si ottengono fori a forma di cono, atti ad ospitare viti a testa svasata [1.8].
- **Alesatura**: operazione in cui si ottiene un foro con diametro esatto, utile inoltre a rimuovere eventuali difetti derivanti dal taglio laser [1.8].
- **Filettatura**: operazione con la quale si ricava un filetto all'interno di un foro preesistente, in modo da permettere un accoppiamento per avvitamento [1.8].
- **Sbavatura**: rimozione di piccole imperfezioni (bave) o spigoli vivi migliorando l'estetica e la precisione degli accoppiamenti
- **Fissaggio perni elettrosaldati**: tecnica con la quale vengono installati inserti filettati maschi senza la necessità di forare il materiale.
- **Fissaggio inserti a pressione**: applicazione di punti di fissaggio permanenti tramite presse.

Una volta predisposti, i sistemi che lo richiedono vengono giuntati in maniera provvisoria come nel caso si utilizzino viti e bulloni, o in maniera permanente come nel caso della saldatura. In fine i singoli componenti o i sistemi assemblati subiscono operazioni di finitura quali:

- **molatura e smerigliatura:** processi di abrasione del materiale atti a rimuovere le imperfezioni superficiali.
- **Satinatura:** processo di abrasione superficiale il quale conferisce al metallo un aspetto opaco e ne migliora la resistenza alla corrosione e ai graffi [1.8].
- **Lucidatura:** processo di levigatura superficiale il quale conferisce al metallo un aspetto lucido e riflettente [1.8].

Una volta rifiniti i prodotti vengono imballati e preparati per il cliente.

RESIDUI DI LAVORAZIONE

Durante la maggior parte delle lavorazioni descritte nel capitolo precedente vengono generati inevitabilmente una serie di residui. Si tratta di scarti con caratteristiche molto variabili, riconducibili a due origini distinte. La prima è la lavorazione stessa: ogni operazione di taglio, foratura, molatura ecc. dà luogo a sfridi e residui. La seconda è l'usura dei componenti e delle attrezzature impiegate, che nel tempo si consumano e perdono di efficacia, venendo quindi sostituite. Per quanto riguarda il processo di taglio laser i componenti soggetti ad usura sono:

- **Griglie di appoggio:** è la struttura di sostegno della

lamiera all'interno della baia di taglio; a seguito di ore di utilizzo della macchina si depositano sui suddetti supporti grandi quantità di materiale fuso di scarto, questo rende la superficie di appoggio poco omogenea e rischia di danneggiare i materiali con i quali viene a contatto. Una volta incrostate le griglie vengono ripristinate con utensili appositi, ma dopo una serie di cicli vanno inevitabilmente sostituite.



Fig. 1.8 Griglie di appoggio incrostate

- **Filtri:** durante il taglio vengono prodotti fumi e polveri sottili nocive per la salute degli operatori e dell'ambiente, ciò rende necessario un impianto di aspirazione in grado di assorbire e filtrare questi residui per permetterne poi lo smaltimento come rifiuto speciale. Questo processo provoca la graduale perdita di efficacia dei filtri e quindi eventualmente il loro smaltimento una volta esauriti, anch'essi come rifiuto speciale pericoloso [1.9].

Tra i residui direttamente derivanti dalla lavorazione di taglio laser troviamo:

- **Polveri sottili:** la vaporizzazione istantanea del metallo sprigiona grandi quantità di polveri sottili, di cui una parte viene raccolta tramite il sistema di aspirazione e filtraggio della macchina, e una parte si deposita nei cassettei sottostanti l'area di taglio. Questi residui vengono raccolti in appositi contenitori e smaltiti come rifiuti speciali potenzialmente pericolosi [1.10].
- **Metallo fuso:** il grande calore sprigionato dal laser fonde il metallo istantaneamente, facendolo depositare in parte sulle griglie di appoggio, ed in parte negli appositi cassettei posti sotto la superficie di taglio, questa tipologia di residuo viene solitamente smaltita come rifiuto speciale.

Sfridi di lamiera: una volta terminato il taglio laser, la lamiera viene rimossa dalla macchina e vengono separati i componenti utili dallo "scheletro" residuale, quest'ultimo viene raccolto in contenitori e destinato al riciclo in quanto metallo non contaminato. Qualora i pezzi presentino delle perforazioni, vengono raccolte all'interno dei cassettei le "anime" delle suddette forature. Questi residui, a differenza degli scheletri, spesso cadono all'interno dei cassettei di recupero, vengono contaminati da polveri e residui e vengono smaltiti assieme ad essi.

Tra i residui generati dagli altri processi di lavorazione si evidenziano:

- **Sfridi del taglio di tubolari:** all'interno dell'azienda viene utilizzata una sega a nastro semiautomatica per ricavare sezioni di tubolari metallici. Al termine del taglio vengono generate eccedenze, qualora esse siano di dimensioni troppo ridotte per il riutilizzo vengono raccolte e destinate al riciclo.



Fig. 1.9 Residui del taglio tubi

Trucioli: per quanto le quantità prodotte dalla Vibel Group non siano paragonabili ad aziende che effettuano operazioni quali: tornitura e fresatura del metallo, durante le operazioni di filettatura, svasatura etc. vengono prodotti trucioli metallici; questi residui, essendo spesso contaminati da oli lubrificanti, vengono smaltiti come rifiuti speciali pericolosi.



Fig. 1.10 Trucioli

- **fanghi di finitura:** durante i processi di finitura che prevedono esportazione di materiale tramite abrasione, vengono rilasciate in aria polveri sottili, queste vengono raccolte tramite appositi impianti di aspirazione e smaltite come rifiuto potenzialmente pericoloso [1.11].

L'analisi evidenzia come il processo di produzione di

un'azienda di carpenteria metallica generi **un flusso eterogeneo di residui**. Ogni fase produttiva contribuisce a questo bilancio di materia con **tipologie e volumi differenti**. Una sfida progettuale che ne emerge è la valorizzazione di quei residui che non necessitano di processi di smaltimento, riciclo o bonifica speciali; in questa prospettiva l'intervento di Design proposto ha il compito di ripensare questi prodotti **attraverso strategie di recupero selettivo e rifabbricazione**.



DALLO SCARTO AL SEMILAVORATO



ECONOMIA CIRCOLARE

L'economia circolare rappresenta l'alternativa sostenibile al modello economico tradizionale lineare. Quest'ultimo segue una logica del tipo: estrai, produci, usa e getta, di conseguenza incompatibile con un pianeta con risorse limitate, inoltre il sistema lineare è concepito per produrre una grande quantità di scarti, che, per essere smaltiti, provocano un ulteriore degradamento dell'ambiente ed un consumo massiccio di risorse e energia [2.1]. L'economia circolare d'altro canto mira a posticipare il più possibile lo smaltimento dei prodotti, attraverso il riciclo, il riuso e la rigenerazione di materiali di scarto e beni inutilizzati o non più funzionali. Inoltre questo modello di produzione riduce alla base la quantità di scarti generati,

evitando fasi altamente inquinanti come ad esempio l'estrazione mineraria. Inoltre, prevedendo l'utilizzo di energia ricavata da fonti rinnovabili, essa contribuisce alla riduzione del deterioramento ambientale [2.2].

L'industria manifatturiera

L'industria manifatturiera comprende tutte quelle attività che sfruttano macchinari, strumenti e manodopera al fine di **trasformare materie prime in prodotti finiti o in semilavorati**. L'industria manifatturiera è divisa in settori: cibo e bevande, meccanica automotive e meccatronica, moda e tessile, chimica e farmaceutica, sistema casa, metallurgia, materiali non metallici, elettronica, stampa ed editoria [2.3]. Il grafico rappresenta le emissioni di gas serra prodotte dalle attività economiche europee con una suddivisione trimestrale.

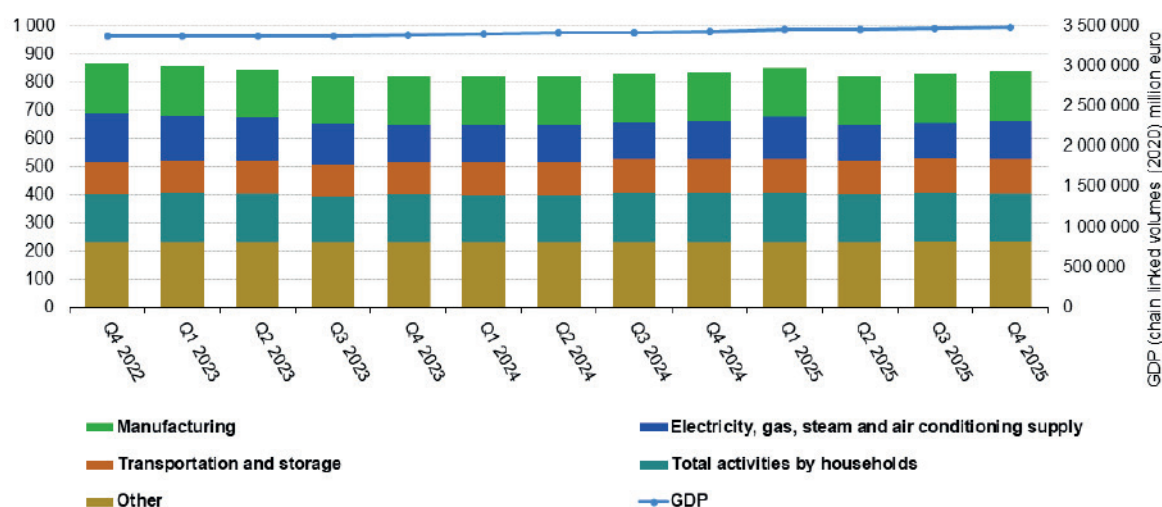


Grafico 2.1 Greenhouse gas emissions by the economy and GDP, EU

Lo schema evidenzia come dal quarto trimestre del 2022 **il settore manifatturiero sia il maggior produttore di gas serra**, con circa il 20% delle emissioni europee totali [2.4], seguito dal settore di approvvigionamento di gas, elettricità e aria condizionata e dal settore dei trasporti. Ciononostante il settore manifatturiero, come la maggior parte dei settori presi in analisi, ha evidenziato negli ultimi anni un trend, relativo alle emissioni totali prodotte, tendenzialmente in decrescita.

-18%

(146 milioni di tonnellate)

Produzione europea di gas serra del settore manifatturiero nel periodo 2013-2024 [2.5]

I Fattori che hanno contribuito maggiormente al calo sono:

- **Maggiore utilizzo di energie rinnovabili**
- **Maggiore efficienza dei processi produttivi**
- **Maggiore frequenza di riciclaggio delle materie prime**

A livello globale, i settori dell'industria manifatturiera che più influenzano la produzione di gas serra sono:

- **Il settore metallurgico:** responsabile del 32,5% delle emissioni di gas serra dell'industria.

- **Il settore chimico:** responsabile del 26,3% delle emissioni di gas serra dell'industria.
- **Il settore del cemento:** responsabile del 10,8% delle emissioni di gas serra dell'industria [2.6].

PRODUZIONE E RICICLAGGIO DEL METALLO

Il settore metallurgico rappresenta una delle realtà industriali più rilevanti per l'economia globale, ma allo stesso una delle più inquinanti. Queste emissioni avvengono lungo l'intero ciclo di vita del materiale, ma si concentrano principalmente nelle prime fasi di produzione. Esse si distinguono tra dirette e indirette: le prime vengono prodotte dal processo stesso, come nel caso della combustione del carbone durante la fusione negli altiforni; le seconde derivano da processi esterni alla produzione del metallo, come nel caso del consumo di energia elettrica generata tramite la combustione di risorse fossili [2.7]. Le fasi di produzione dei metalli possono differire notevolmente tra metalli ferrosi come acciaio e ghisa e non ferrosi come rame, ottone ed alluminio. Ad ogni modo la loro produzione di può avvenire tramite due cicli sostanzialmente differenti: **il ciclo integrale** ed **il ciclo del rottame**.

Ciclo integrale dell'acciaio

È il processo effettuato dalla cosiddetta **industria siderurgica**, il quale parte dai minerali contenenti ferro fino ad arrivare ai semilavorati di base, come tubi, lamiere, lingotti etc. Questo metodo produttivo è proprio dell'economia lineare definita precedentemente. Le fasi iniziali del ciclo integrale prevedono l'estrazione, la frantumazione e il lavaggio dei minerali. I prodotti ottenuti vengono sottoposti ad una serie di operazioni di arricchimento e affinazione, come ad esempio la sinterizzazione, le quali li preparano alle fasi successive del ciclo di produzione. I minerali di ferro così predisposti e privati della maggior parte delle impurità vengono inseriti all'interno degli altiforni assieme al Coke (carbone artificiale) e ad additivi per il processo di riduzione. Quest'ultimo avviene a temperature elevatissime e permette la creazione di legami tra ferro e carbonio, ottenendo così una massa di ferro fuso ad elevato tenore di carbonio, la ghisa. Il materiale fuso così ottenuto viene colato e destinato alla produzione di oggetti in ghisa o continua il ciclo produttivo per essere trasformato in acciaio. Quest'ultimo passaggio avviene sotto il nome di conversione all'interno dei convertitori LD, all'interno dei quali la ghisa liquida viene investita da una grande quantità di ossigeno; il getto di gas riduce la concentrazione di carbonio all'interno della lega, trasformandola in acciaio. Il metallo così ottenuto viene successivamente trasformato nei diversi semilavorati di base, tramite processi di lavorazione a caldo o a freddo [2.8].

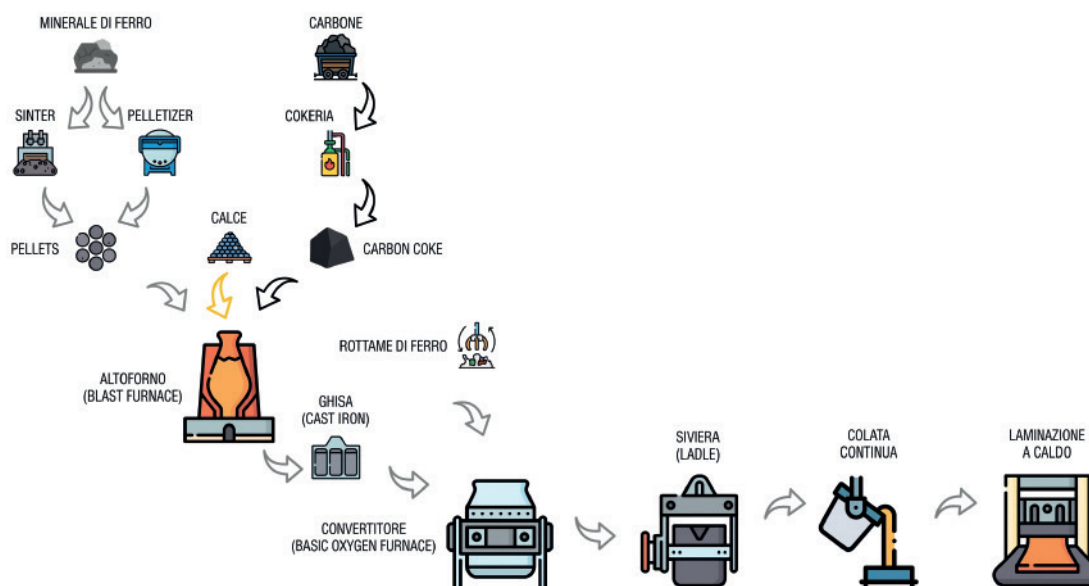


Fig. 2.1 Ciclo integrale di produzione dell'acciaio

Il ciclo integrale di produzione dell'acciaio è responsabile del consumo di grandi quantità di acqua, specialmente nelle fasi di estrazione e lavaggio dei minerali, del degrado ambientale, dovuto all'estrazione mineraria, e del rilascio di enormi quantità di sostanze tossiche, specialmente nelle fasi di produzione del coke, sinterizzazione dei minerali e riduzione del ferro in altoforno [2.9].

Ciclo integrale dell'alluminio

*Nota: viene analizzata la produzione di alluminio poiché metallo non ferroso maggiormente utilizzato dalla Vibel, inoltre presenta un processo di produzione paragonabile ad altri metalli non ferrosi.

Come per l'acciaio, il ciclo integrale o primario dell'alluminio ha inizio con l'estrazione del minerale dalla quale lo si ricava, la Bauxite. Quest'ultimo viene quindi frantumato e lavato per rimuovere una prima parte delle impurità. Successivamente la Bauxite viene trasformata in allumina attraverso il processo di raffinazione denominato Bayer che consiste in un lavaggio a base di idrossido di sodio. Si passa quindi alla fase centrale dell'intero processo, ovvero la riduzione dell'allumina ad alluminio metallico, tramite il processo di elettrolisi denominato **Hall-Heroult**, durante questa operazione **viene utilizzato un enorme quantitativo di energia elettrica**. Il metallo così ottenuto viene successivamente trasformato in semilavorato [2.10]. Il ciclo primario della produzione dell'alluminio è responsabile in maniera indiretta della produzione di grandi quantità di gas

inquinanti, soprattutto a causa delle fasi altamente energivore di raffinazione ed elettrolisi, è invece direttamente responsabile del degrado ambientale dovuto all'estrazione mineraria e della produzione di grandi quantità di residui, generati durante i processi chimici, come ad esempio i fanghi rossi [2.11].

Ciclo del rottame

I metalli utilizzati tradizionalmente nell'industria manifatturiera, come acciaio, alluminio, rame, ottone ecc. sono riciclabili infinite volte. Il metallo riciclato infatti, a patto che il processo di riciclaggio avvenga correttamente, mantiene le stesse caratteristiche fisiche e chimiche del metallo ricavato dalla materia prima vergine. Questa caratteristica lo rende un materiale ideale per il riciclo, anche detto ciclo del rottame. Questo processo di produzione inizia dalla raccolta differenziata degli scarti, sia quelli prodotti dall'industria manifatturiera, come sfridi e prodotti difettosi, sia quelli prodotti dai consumatori, e li reinserisce nelle fasi finali del ciclo integrale di produzione.

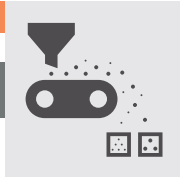
CICLO INTEGRALE



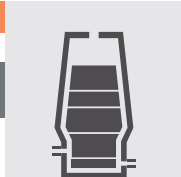
ESTRAZIONE



**FRANTUMA-
ZIONE**



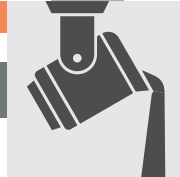
**AFFINAZIONE
E ARRICCHI-
MENTO**



RIDUZIONE



**RAFFINAZIONE
E FUSIONE**



COLATA



**RESIDUI
INDUSTRIALI**

**SEMILAVORATI
PRIMARI**



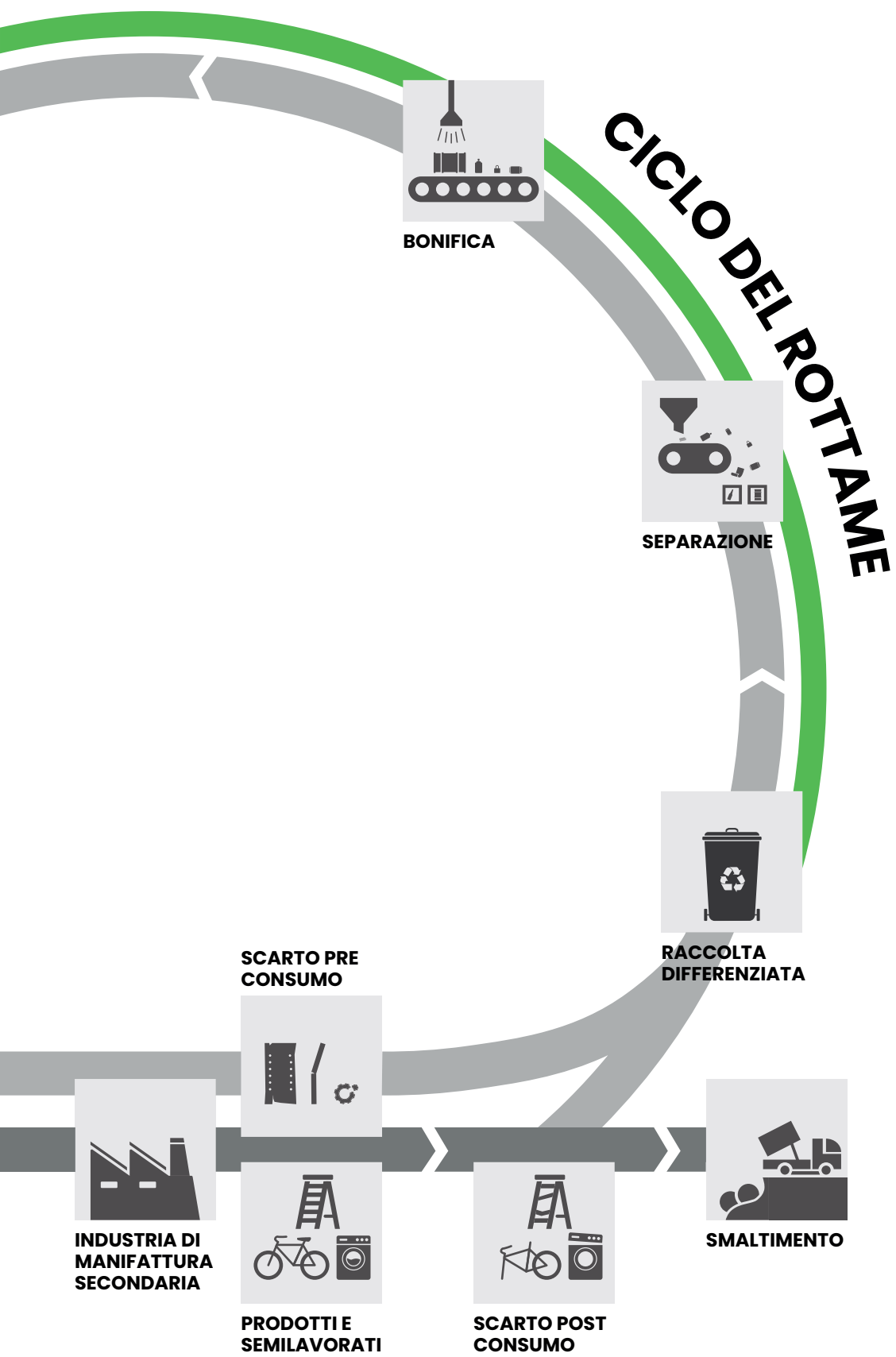
FUSIONE



PRESSATURA



**FRANTUMA-
ZIONE**



Il ciclo del rottame **permette quindi di bypassare le fasi iniziali del ciclo di produzione primario**, responsabili di gran parte del degrado ambientale, del consumo energetico e di risorse, e delle emissioni di gas serra dell'intero ciclo di vita del materiale. Vengono evitati inoltre i trasporti trans-continentali delle materie prime e dei semilavorati primari. Nello specifico **il riciclaggio dell'acciaio** riduce le emissioni di CO₂ del 58% rispetto alla produzione primaria. Per ogni tonnellata di acciaio riciclato si risparmiano: 1,67 tonnellate di CO₂, 1,4 tonnellate di minerale di ferro, 0,8 tonnellate di carbone e 0,3 tonnellate di additivi. Il riciclaggio dell'acciaio inoltre garantisce risparmi energetici dal 60% al 75% rispetto alla filiera primaria, in base all'efficientamento dei processi, con significativi vantaggi anche per quanto riguarda il consumo e l'inquinamento delle acque. **Il riciclaggio dell'alluminio** a sua volta garantisce significativi vantaggi, producendo il 92% di CO₂ in meno rispetto alla produzione primaria ed un risparmio fino al 95% di energia elettrica. Una singola tonnellata di alluminio riciclato evita l'estrazione di 8 tonnellate di bauxite, il consumo di 14.000 kWh di energia e lo scavo di 7,6 m³ di terreno. Anche il riciclo di altri metalli come ad esempio rame e ottone comportano risparmi energetici e di emissioni paragonabili [2.12].

I LIMITI DEL RICICLAGGIO DEL METALLO

Per quanto sulla carta il riciclaggio del metallo sia un'opzione significativamente migliore a livello di sostenibilità economica ed ambientale rispetto alla produzione primaria, anch'esso presenta limiti e sfide complesse che in alcuni casi lo rendono inefficiente o addirittura impraticabile. Nello specifico le criticità riguardano:

- **La separazione efficiente delle leghe metalliche:** le leghe metalliche, spesso usate in gran numero ed in piccole quantità come nel caso delle apparecchiature elettroniche, vanno separate nei singoli componenti per un riciclo efficace. Questo processo risulta spesso molto complesso ed economicamente non sostenibile date le tecnologie attuali. Il riciclo di leghe non correttamente separate comporta quasi sempre un abbassamento della qualità e conseguentemente del valore del prodotto che ne deriva, questo processo viene definito downcycling. L'impossibilità di separare i componenti delle leghe metalliche può eventualmente determinarne lo smaltimento del prodotto in discarica [2.13].
- **Le contaminazioni:** similmente a quanto accade per le leghe, i metalli contaminati da

materiali o sostanze, come plastica, vernice, lubrificanti ecc. comportano costi elevati e l'utilizzo di macchinari avanzati per la loro corretta separazione. Anche in questo caso il riciclaggio diventa un processo non necessariamente vantaggioso economicamente e proibitivo per paesi meno sviluppati. Questi materiali inoltre, se inseriti nel ciclo del rottame, provocano il rilascio di fumi e residui dannosi per l'ambiente e per gli operatori, e richiedono quindi una gestione adeguata [2.14].

- **Il consumo energetico:** il ciclo del rottame, nei casi favorevoli, comporta vantaggi significativi in termini di consumo energetico rispetto alla produzione primaria, ciononostante si tratta comunque di processi energivori, soprattutto per quanto riguarda la fusione del metallo; inevitabilmente vengono quindi generate, direttamente e indirettamente, emissioni di gas serra e rilevanti quantità di rifiuti.

In conclusione il riciclo dei metalli rappresenta uno step fondamentale nell'ottica di sviluppo sostenibile. Tuttavia si tratta di un processo non sempre praticabile e/o economicamente favorevole, che richiede macchinari tecnologicamente avanzati e quantitativi energetici non indifferenti durante le fasi di raccolta, selezione, separazione e rifusione. Per questi motivi,

strategie complementari di economia circolare come l'upcycling, rappresentano soluzioni molto valide poiché posticipano il fine vita del materiale.

UPCYCLING

Il termine upcycling è stato utilizzato per la prima volta nel 1994 all'interno della rivista di architettura "Salvo" da Reiner Pilz, un ingegnere meccanico. Il termine venne utilizzato per descrivere un processo opposto al riciclaggio, in quanto quest'ultimo comporta inevitabilmente un abbassamento della qualità e del valore del prodotto che ne deriva. L'upcycling d'altro canto racchiude l'insieme di attività che, utilizzando materiali e oggetti di scarto non più funzionali, li trasformano in nuovi prodotti dotati di un valore funzionale ed estetico superiore rispetto a quelli di partenza. Negli ultimi anni questa metodologia di riutilizzo ha vissuto un grande incremento di popolarità, grazie al suo impatto ambientale positivo e alla componente creativa che lo caratterizza. Questa pratica infatti, non solo riduce gli scarti, ma dà vita a prodotti originali ed identitari, incentivando così individui, artigiani e aziende manifatturiere a introdurla all'interno del proprio operato [2.15].

CASI STUDIO

I casi studio presentati di seguito documentano aziende, designer e artisti che, a partire da residui metallici pre e post consumo, hanno realizzato nuovi prodotti funzionali, mantenendo il valore del materiale attraverso processi di upcycling.

One Side Sawn



Studio: ThusThat

Tipologia di scarto: pre consumo

Materiale: alluminio

Descrizione: durante le fasi di realizzazione dei semilavorati primari, l'alluminio fuso viene colato in grandi blocchi da circa 26 tonnellate; durante il raffreddamento si formano esternamente ad essi superfici ondulate e irregolari, le quali vengono successivamente rimosse tramite sega. La collezione One Side Sawn utilizza questi residui per la produzione di elementi di arredo unici.

Nestart



Azienda: Nestart

Tipologia di scarto: pre consumo

Materiale: acciaio, ferro, alluminio

Descrizione: Nestart è una startup italiana fondata dall'artigiano Silvio Bordini. Si tratta di una realtà che sfrutta gli sfridi del taglio laser di lamiere metalliche, derivanti principalmente dalla produzione di componenti di macchinari pesanti, per la produzione di pannelli ed elementi di arredo, realizzati in collaborazione con vari studi di design.

Martèn



Azienda: Barrel Atelier

Tipologia di scarto: post consumo

Materiale: ferro, acciaio

Descrizione: Martèn è un lampadario a sospensione realizzato dal laboratorio olandese Barrel Atelier. Le lampade in questione utilizzano i "cerchi" metallici, derivanti da vecchie botti non più funzionali, come elemento strutturale e diffusore.

Boilerlight



Studio: Indusigns

Tipologia di scarto: post consumo

Materiale: rame

Descrizione: Boilerlight è una collezione di lampade a sospensione composta da tre modelli, i quali integrano sezioni di gusci di rame, di circa 45 cm di diametro, ricavati da vecchie caldaie in disuso. Le lampade in questione lasciano ben visibili i segni di usura presenti sul metallo, rendendo ogni pezzo unico ed in grado di comunicare la storia del prodotto.

O.F.I.S.



Designer: Lucas Muñoz

Tipologia di scarto: post consumo

Materiale: acciaio

Descrizione: O.F.I.S. è una collezione di elementi di arredo realizzata da scarti metallici industriali, nello specifico il designer spagnolo utilizza in questa serie vecchi condotti di areazione prelevati da fabbriche abbandonate e dismesse.

Bolts nails & wood



Artista: Lee Jaehyo

Tipologia di scarto: post consumo

Materiale: acciaio

Descrizione: Lee Jaehyo è un artista e scultore sud-coreano. Tra le sue opere la serie di sculture denominata "Bolts nails & wood" utilizza una base di legno con finitura nera opaca sulla quale vengono applicate migliaia di viti e chiodi di scarto, ottenendo così composizioni complesse e visivamente accattivanti.

Bottletop



Azienda: Bottle Top

Tipologia di scarto: post consumo

Materiale: alluminio, acciaio

Descrizione: Bottle Top è un marchio britannico di moda etica e sostenibile di lusso, fondato nel 2002 da Cameron Saul e Roger Saul, celebre per la creazione di borse e accessori di alta gamma realizzati interamente con materiali riciclati e di scarto. Tra i residui riutilizzati maggiormente troviamo tappi di bottiglie e linguette di lattine.

SFRIDI DEL TAGLIO LASER DI LAMIERE

Nel caso specifico dell'azienda Vibel Group, i residui prodotti nettamente in maggiore quantità, sono gli sfridi derivanti dal taglio laser di lamiera. Per questo motivo e per la loro elevata varietà, in termini di dimensioni e forme, sono stati selezionati come oggetto di analisi e ricerca di potenziali riutilizzi a valore aggiunto.

LO SFRIDO TRADIZIONALE

Le caratteristiche di questa tipologia di **sfrido dipendono direttamente dal componente primario** che si va a produrre. Si tratta infatti di un **prodotto derivato secondario** e risulta essere il negativo del componente primo. In base alle caratteristiche di quest'ultimo si possono distinguere due tipologie di sfrido differenti:

- **Scheletro**: si tratta della **porzione continua di lamiera** residuale a seguito del taglio e dell'esportazione dei componenti primari; i profili di questi ultimi corrispondono alle aperture presenti sullo sfrido. Le dimensioni dello scheletro dipendono da quelle della lamiera utilizzata di partenza,

nel caso però essa sia di grandi dimensioni, il residuo viene sezionato mediante tagli laser ausiliari, ottenendo quelli che in Vibel vengono chiamati "**quadrotti**". Questo processo ne facilita la movimentazione ed il recupero dei componenti utili.

- **Cascame**: è costituito dalle porzioni di materiale prodotte da quei componenti che presentano perforazioni e/o aperture di vario tipo. Questa particolare tipologia di sfrido è spesso di dimensioni ridotte e nella maggior parte dei casi cade automaticamente nei cassettei sottostanti la baia di taglio, assieme a polveri metalliche e porzioni di metallo fuso; questa caratteristica ne complica l'eventuale processo di raccolta e selezione. Si noti come un componente con perforazioni al suo interno genera entrambe le tipologie di sfrido.

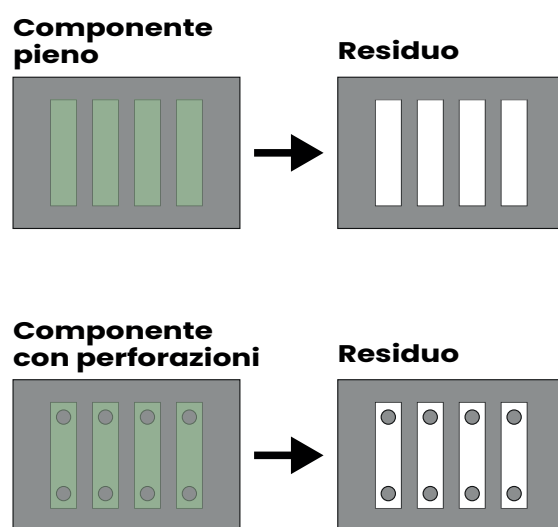


Fig. 2.2 Tipologie di sfrido di lamiera

Risulta evidente come gli scheletri possano presentare perforazioni molto variabili, in termini di numero, forma e dimensioni, in base ai componenti primari dai quali derivano; inoltre le loro dimensioni, per quanto vengano spesso sezionati in quadrotti, rimangono comunque importanti, riducendone la flessibilità di riutilizzo. I cascami invece sono quasi esclusivamente prodotti di piccole dimensioni, difficili da raccogliere, separare e mappare. Entrambe le tipologie inoltre, allo stato in cui si ottengono tradizionalmente, presentano limitate possibilità di aggregazione e/o interazione, se non con tecniche di giunzione permanente come la saldatura.

CARATTERISTICHE FISICHE DELLO SFRIDO

Le caratteristiche fisiche degli sfridi **vengono determinate durante le due fasi iniziali della produzione**: la modellazione ed il nesting. Nella prima fase si definiscono lo spessore e la forma del componente primario, di conseguenza vengono stabiliti lo spessore e la forma delle aperture dello scheletro e dei cascami. Nella fase di nesting vengono determinati:

- **Il passo**: corrisponde alla distanza sugli assi x ed y tra i singoli componenti, misura mediamente 5 mm ma può variare leggermente in base allo spessore della lamiera.

- **I margini**: sono le distanze di sicurezza dai bordi della lamiera, all'interno dei quali la macchina non effettuerà tagli. Permettono di compensare eventuali tolleranze della lamiera e possibili deformazioni del materiale.
- **Il lead in**: si tratta dell'incisione iniziale che la macchina esegue per ottenere un profilo di taglio preciso. Infatti, anziché iniziare direttamente sul perimetro del componente, l'incisione parte ad una leggera distanza esternamente ad esso; la lunghezza di questa deviazione è determinata in base allo spessore della lamiera e può misurare da un minimo di 0,5 mm fino a circa 15 mm.

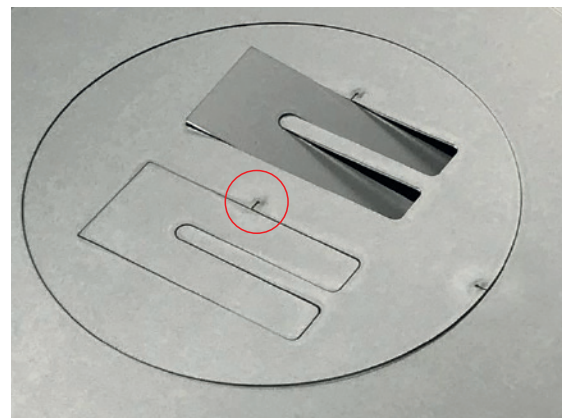


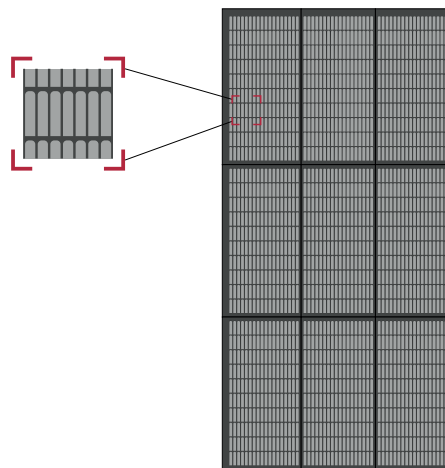
Fig. 2.3 Incisione lead in

- **I quadrotti**: corrispondono alle suddivisioni previste per lamiere di grandi dimensioni, i quadrotti sono caratterizzati tradizionalmente da una forma quadrata o rettangolare e la

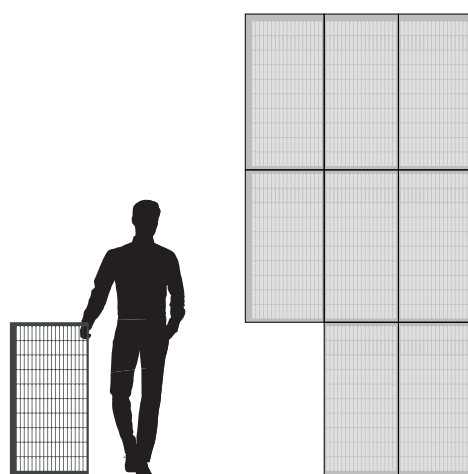
loro dimensione viene definita, in fase di nesting, in base alle esigenze. Normalmente una lamiera viene suddivisa in sei o nove quadrotti.

SELEZIONE DELLO SFRIDO

A seguito di un'attenta analisi delle caratteristiche fisiche, delle quantità e dei processi logistici che li caratterizzano, la tipologia di sfrido che più risulta adatta ad un riutilizzo tramite upcycling è quella degli "scheletri". Nello specifico **vengono presi in esame gli scheletri derivanti da una particolare tipologia di prodotto: le minuterie metalliche**, introdotte nel capitolo 1.2. Questa scelta è giustificata dal fatto che i componenti appartenenti a questa famiglia vengono spesso prodotti in quantità importanti, nell'ordine di centinaia o migliaia di unità. Per questo motivo e per il fatto che presentano caratteristiche morfologiche e dimensionali paragonabili tra loro, gli scheletri derivanti da minuterie metalliche si prestano a soluzioni di riutilizzo modulari e con metodi di generazione replicabili.



- 1) Il codice G generato nella fase di nesting guida la macchina laser nel taglio dei singoli componenti e dei quadrotti



- 2) A seguito dell'estrazione dei componenti utili, gli scheletri residui vengono raccolti e destinati al riciclo

Fig. 2.4 Schema di produzione degli scheletri derivanti da minuterie metalliche

LO SFRIDO INDOTTO

Allo stato attuale gli sfridi presi in esame non sono adatti ad essere inseriti in un processo di valorizzazione flessibile e che sfrutti a pieno il loro potenziale, necessitano pertanto di subire alcune modifiche strutturali.

OBIETTIVO

L'obiettivo della tesi non è semplicemente dare una nuova vita ad uno sfrido, bensì è sviluppare **una strategia di riutilizzo sistematico** dei suddetti sottoprodotti. A differenza degli approcci di upcycling tradizionali, i quali intervengono sullo sfrido solo una volta prodotto, la strategia proposta **ne considera il potenziale riutilizzo già durante la fase di definizione dei componenti primari che lo originano**; concretamente allo sfrido vengono indotte caratteristiche particolari in base alla categoria di reimpiego prevista; così facendo si trasforma **da sottoprodotto accidentale del processo produttivo a semilavorato intenzionalmente progettato**, finalizzato al riutilizzo a valore aggiunto; lo sfrido così ottenuto viene definito **Modulo**.

PROCEDIMENTO OPERATIVO

Il primo step della strategia di coproduzione proposta è la scelta del componente primario adeguato, da questo infatti dipendono alcuni vincoli progettuali inalterabili definiti precedentemente. Parallelamente alla scelta della minuteria, va progettato il modulo che ne deriva, nella sua forma, dimensione e caratteristiche aggiuntive. Queste caratteristiche dipendono strettamente dalla categoria di reimpiego prevista, ciononostante un semilavorato di grandi dimensioni, come nel caso dei quadrotti, presenta tendenzialmente una versatilità ridotta, il che lo rende spesso meno adeguato alla strategia di riutilizzo definita.

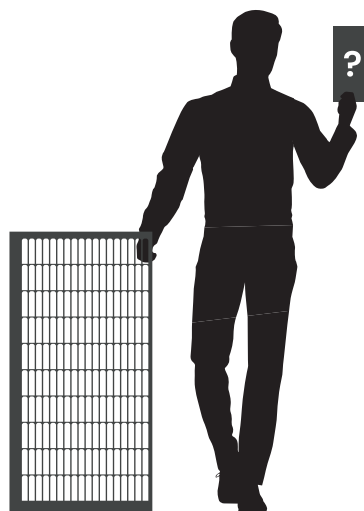


Fig. 2.5 Rapporto di scala indicativo quadrotto/modulo

Una variazione di scala come quella indicata in figura, comporta inevitabilmente una **riduzione del numero di componenti primari inseribili all'interno della stessa lamiera, in contrasto con i criteri convenzionali di nesting di ottimizzazione dello spazio**. La riduzione di efficienza viene però **compensata dalla trasformazione dello scheletro residuo, da sfrido destinato al riciclo a risorsa funzionale**. Un principio analogo è già applicato all'interno del processo produttivo aziendale, durante la **piegatura in serie**. Questa operazione, come rappresentato in figura, permette di piegare molteplici unità contemporaneamente. Anche in questo caso, disponendo le unità all'interno di configurazioni lineari dalle dimensioni ridotte, si rinuncia alla massima concentrazione di componenti primari sulla lamiera, ma si ottiene, in questo caso, un beneficio di natura operativa, ovvero la significativa riduzione dei tempi di lavorazione.

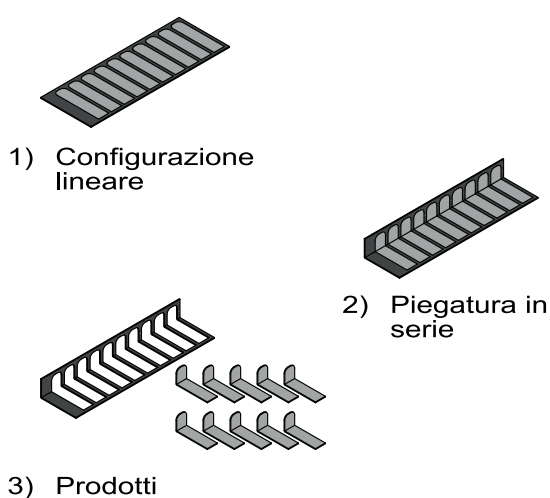


Fig. 2.6 Step piegatura in serie

A seguito dell'estrazione dei componenti utili, gli scheletri piegati vengono raccolti e destinati al riciclo. In entrambi i casi emerge il concetto di **Trade-off**, ovvero si accetta un peggioramento, nello specifico la diminuzione del numero di componenti primari ottenibili da una singola lamiera, per generare un beneficio complessivamente maggiore, in termini di efficienza o conservazione del valore.

Un'ulteriore modifica strutturale non obbligatoria, consiste nel predisporre perforazioni ausiliari o alette sui moduli, con l'obiettivo di migliorarne la capacità di interazione. Anche in questo caso la modifica va' introdotta in funzione delle necessità, definite dalla configurazione d'uso prevista. Nello specifico l'aggiunta di alette all'esterno del perimetro del modulo, riduce ulteriormente l'efficienza di nesting.

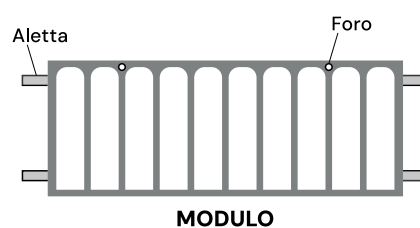


Fig. 2.7 Rappresentazione indicativa di un modulo con fori e alette

Una volta completata la modellazione di entrambi i prodotti, i loro rispettivi sviluppi piani vengono **introdotti congiuntamente** nella fase di

nesting, massimizzando la collocazione di moduli all'interno della lamiera, con la possibilità di riempire eventuali spazi vuoti rimanenti con i singoli componenti primari. Al termine del taglio laser, si separano i due semilavorati ottenuti: il componente primario ed il modulo; essi proseguono quindi in maniera autonoma il loro processo produttivo.

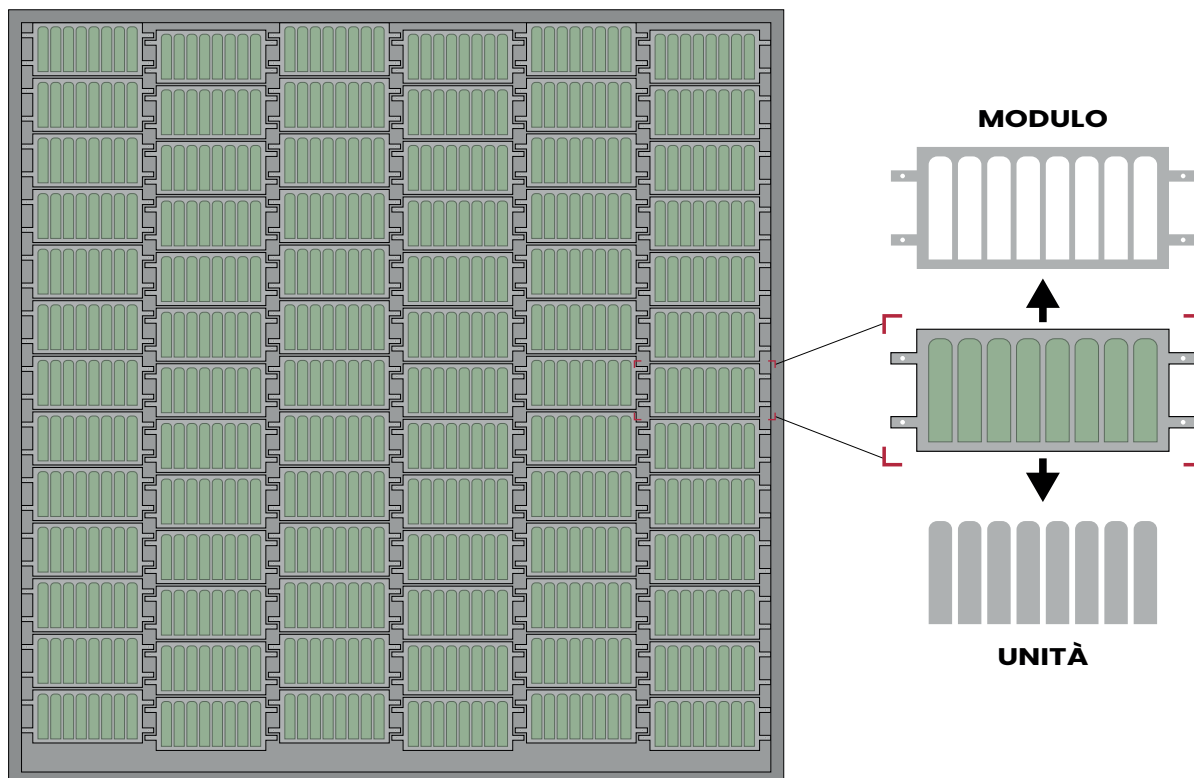


Fig. 2.8 Nesting congiunto e coproduzione

POTENZIALITÀ, LIMITI E CONDIZIONI DI APPLICABILITÀ DEL METODO

Il metodo proposto, basato sulla coproduzione di due entità distinte, non sostituisce il metodo tradizionale, bensì si pone come alternativa ad esso. La sua efficacia dipende dal corretto bilanciamento tra le complessità ed i benefici derivanti. Vengono di seguito esplicitati limiti e

potenzialità della strategia, insieme a requisiti e scenari che rendono favorevoli l'applicazione del metodo proposto rispetto a quello tradizionale.

Potenzialità

- **Coproduzione:** il metodo proposto permette la realizzazione di due semilavorati funzionali, ciò comporta maggiore efficienza e minori costi di produzione nelle fasi congiunte.

- **Resa di produzione:** il metodo proposto, a patto che venga applicato adeguatamente, mantiene elevati standard di utilizzo della lamiera, potenzialmente migliori del metodo tradizionale, poiché sfrutta attivamente, come elemento strutturale del modulo, i margini tra le singole unità; questi ultimi normalmente verrebbero destinati al riciclo.
- **Applicabilità estesa:** un particolare modulo non è vincolato ad un solo componente primario specifico, bensì può essere coprodotto a partire da una serie di componenti con caratteristiche dimensionali e morfologiche simili.
- **Ripetibilità del modulo:** una volta sviluppato un modulo, con un determinato spessore, esso può essere riutilizzato infinite volte con aggiustamenti minimi al cambiare del componente primario. Anche il nesting associato al modulo può essere riutilizzato con modifiche minime al variare delle quantità, accorciando i tempi di produzione
- **Flessibilità nella forma:** il modulo, a differenza dei quadrotti classici, può presentare morfologie differenti, concave o convesse, in base alle finalità di reimpiego previste, sempre che permettano una disposizione efficiente in fase di nesting
- **Flessibilità nella disposizione:** durante la fase di nesting il

componente primario può essere collocato, all'interno del modulo, secondo orientamenti non necessariamente ortogonali, questo permette di ottenere semilavorati residuali con configurazioni variabili. Anche in questo caso la modifica deve avvenire mantenendo un grado di ottimizzazione dello spazio elevato.

- **Identità aziendale:** l'integrazione del metodo all'interno del processo produttivo aziendale rappresenta un segnale tangibile di attenzione alla sostenibilità e ai principi di economia circolare, tutto ciò diversifica l'azienda da competitors che non dimostrano una tale attenzione ed accresce il valore aziendale percepito dai clienti.

Limiti

- **Efficienza ridotta:** come accennato nel capitolo 2.5.2, questo metodo di produzione riduce il numero di componenti primari inseribili all'interno della lamiera.
- **Modello produttivo:** nel modello produttivo proposto, per quanto riguarda il modulo, l'offerta quasi sempre precede la domanda; inoltre la sua disponibilità dipende dalla produzione del componente primario, ciò comporta vincoli morfologici, personalizzazione limitata e disponibilità intermittente difficilmente programmabile; per queste

caratteristiche vengono precluse in partenza alcune tipologie di prodotti nelle quali integrare i moduli.

- **Progettazione dei moduli:** lo sviluppo di un modulo richiede un impegno su più fronti: oltre alla modellazione del semilavorato in sé, occorre infatti analizzare con attenzione le tipologie e le quantità di componenti primari prodotti abitualmente, poiché da essi dipendono i potenziali ambiti di riutilizzo. Il prodotto ottenuto inoltre deve essere commercializzabile in maniera efficace ed in linea con le metodologie aziendali.
- **Nesting:** in base alle caratteristiche geometriche del modulo sviluppato, può risultare complesso e dispendioso trovarne la disposizione ottimale all'interno della lamiera in fase di nesting.
- **Adattamento morfologico:** lo stesso modulo può essere coprodotto a partire da molteplici componenti. Questa caratteristica può comportare la necessità di effettuare piccoli aggiustamenti dimensionali nel caso di unità dello stesso spessore ma con forme e dimensioni diverse; nel caso invece di componenti primari con spessori diversi, essi determinano la necessità di rivedere il modulo ed il suo processo produttivo. Così come i moduli, anche eventuali componenti aggiuntivi potrebbero necessitare di modifiche.

- **Incisione "lead-in":** per le modalità operative del taglio laser, descritte al capitolo 2.4.2, i componenti secondari presentano una piccola imperfezione dovuta all'incisione "lead-in", di natura puramente estetica. Si tratta di una caratteristica inevitabile, propria del processo produttivo; ciò la rende un attributo in grado di identificare l'origine dei prodotti.

Condizioni di applicabilità

Per le caratteristiche sopra elencate si possono evidenziare **scenari e requisiti che determinano il passaggio da soluzione fattibile a soluzione vantaggiosa:**

- **Volume di produzione:** per giustificare i costi di sviluppo di un modulo, e produrre quindi un numero sufficiente di unità, bisogna selezionare attentamente il componente, o la famiglia di componenti primari che genereranno i moduli. In quest'ottica vanno favoriti:
 - Componenti richiesti in quantità molto elevate
 - Componenti ricorrenti e che vengono richiesti periodicamente
 - Componenti che presentino caratteristiche comuni a numerosi altri componenti prodotti.
- **Commercializzazione:** oltre a sviluppare un prodotto valido, bisogna attuare una strategia di commercializzazione efficace, che sfrutti i canali di

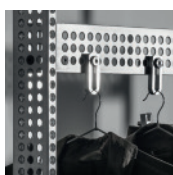
distribuzione disponibili all'azienda e che sia in grado di comunicare il valore intrinseco del prodotto.

- **Design razionale:** il modulo ed il prodotto in cui viene integrato vanno sviluppati tenendo a mente il valore di partenza del semilavorato, bisogna quindi prediligere lavorazioni e dinamiche associate sostenibili, insieme all'impiego del minor numero di componenti aggiuntivi possibile, al fine di ottenere un manufatto coerente con il processo produttivo.
- **Efficienza di nesting:** l'ottenimento di un modulo funzionale non prevale sull'obiettivo principale, ovvero produrre efficientemente i componenti primari. Bisogna pertanto sviluppare moduli che permettano una dislocazione elevata dei suddetti elementi al loro interno e che possano a loro volta essere distribuiti efficacemente all'interno della lamiera.

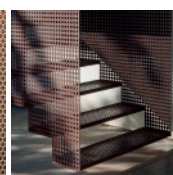
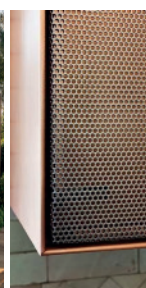
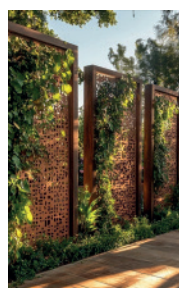
CATEGORIE DI REIMPIEGO

Nota: I casi studio individuati nella presente ricerca vanno intesi come **configurazioni d'uso indicative**, rappresentative delle diverse famiglie di prodotto realizzabili integrando i moduli. Pertanto non vengono analizzati e valutati i casi studio in sé, ma **vengono analizzati e valutati prodotti analoghi ad essi**, per destinazione d'uso e caratteristiche strutturali, realizzati tramite la metodologia di recupero proposta.

La valutazione si articola in tre fasi. Innanzitutto i casi studio vengono associati ad una di quattro funzioni principali: sostenere, filtrare, separare e diffondere. A ciascuno viene poi attribuito un punteggio, da 1 a 5, rispetto a quattro parametri principali: fattibilità tecnica, fattibilità logistica, valore economico e valore comunicativo. Il punteggio di ogni parametro deriva dalla media aritmetica dei rispettivi sotto-parametri. Infine, la media ponderata dei quattro parametri principali fornisce l'indice di compatibilità: ovvero un unico valore che esprime **il grado di coerenza e compatibilità tra una determinata configurazione d'uso e il modello produttivo**. Un alto valore dell'indice di compatibilità non corrisponde necessariamente con la configurazione d'uso ideale, ma evidenzia un caso studio con diverse caratteristiche che lo rendono funzionale al processo di coproduzione proposto, caratteristiche che devono essere prese in considerazione e possibilmente implementate durante lo sviluppo di un prodotto.



SOSTENERE



SEPARARE



FILTRARE



DIFFONDERE



Nello schema che segue vengono riportati i 4 parametri principali: fattibilità tecnica, fattibilità logistica, valore economico e valore comunicativo, rispettivamente abbreviati con le sigle FT, FL, VE e VC. Per ognuno di essi sono riportati i rispettivi sotto-parametri, indicando per ognuno la domanda alla quale rispondono ed un'interpretazione del punteggio. L'indice di compatibilità che ne deriva è ottenuto tramite la formula:
 $0.35 \times FT + 0,3 \times FL + 0,2 \times VE + 0,15 \times VC$.

	SOTTO-PARAMETRO	DOMANDA GUIDA	INTERPRETAZIONE DEL VOTO	
FT	A) Compatibilità con i componenti primari	Le perforazioni presenti sul modulo sono ottenibili, per forma dimensione e quantità, a partire da componenti primari comuni?	1- perforazioni ottenibili da componenti raramente prodotti	5- perforazioni ottenibili da componenti prodotti costantemente ed in grande quantità
	B) Lavorazioni complesse	Il modulo, per essere pronto all'utilizzo/ implementazione, necessita di lavorazioni complesse?	1- il modulo necessita di numerose lavorazioni anche complesse	5- il modulo è pronto all'uso dopo il taglio laser
	C) assemblaggi e componenti	Il prodotto, per funzionare, necessita di componenti aggiuntivi e assemblaggi complessi?	1- il modulo necessita di numerosi componenti aggiuntivi e assemblaggi anche complessi	5- il modulo è autonomamente funzionale ed è assimilabile facilmente
	D) Materiali speciali	Il modulo, per funzionare in maniera duratura, deve essere formato da un metallo speciale?	1- il modulo rimane funzionale a lungo solo se composto da metalli con caratteristiche particolari	5- il modulo rimane funzionale a lungo a prescindere dal metallo di cui è composto
FL	A) Tolleranza alla bassa personalizzazione	Il modulo necessita di forme dimensioni e caratteristiche specifiche determinate dal sistema o ambiente in cui viene implementato?	1- il modulo va sviluppato ad-hoc rispetto al contesto di implementazione	5- le caratteristiche del modulo non sono vincolate dal contesto di implementazione
	B) Tolleranza a spessori variabili	Il modulo è realizzabile e rimane funzionale se prodotto con spessori diversi?	1- il modulo è funzionale/ realizzabile solo se prodotto in uno spessore specifico	5- il modulo è realizzabile e mantiene la funzionalità con un ampio range di spessori
	C) Flessibilità delle perforazioni	Il modulo, per funzionare in maniera efficace, deve presentare aperture con forme, dimensioni e passi specifici?	1- il modulo è efficace solo se presenta aperture con caratteristiche specifiche	5- il modulo è efficace anche se realizzato con aperture variabili nella forma, dimensione e passo
	D) Ingombro	Le dimensioni del modulo rendono difficile l'immagazzinamento o il trasporto?	1- il modulo necessita di grandi spazi per lo stoccaggio e richiede macchinari per la movimentazione	5- il modulo è facile da trasportare e occupa poco spazio quando stoccato
VE	A) Margine di guadagno	Il prezzo di rivendita del prodotto finito giustifica le spese di produzione e commercializzazione?	1- i costi di produzione e commercializzazione non lasciano margini di guadagno	5- i costi di produzione e commercializzazione lasciano ampi margini di guadagno
	B) Risparmio nel riutilizzo	Il modulo derivato è molto economico rispetto alla controparte prodotta tradizionalmente?	1- il modulo è leggermente più economico rispetto alla controparte prodotta tradizionalmente	5- il modulo è sostanzialmente più economico rispetto alla controparte prodotta tradizionalmente
	C) Mercato potenziale	Il prodotto finito ha un mercato potenziale alto?	1- il prodotto è considerabile di nicchia e soddisfa il far bisogno di una ristretta platea di utenti	5- il prodotto è indirizzato ad un'ampia platea di utenti
	D) Scalabilità commerciale	Il modulo è producibile in maniera continuativa?	1- il modulo può essere prodotto raramente in poche unità	5- il modulo può essere prodotto regolarmente in molte unità
VC	A) Capacità narrativa	Il prodotto è in grado di trasmettere il valore determinato dal riutilizzo e di un materiale di scarto?	1- il prodotto non trasmette i valori derivanti dal recupero e dall'upcycling	5- il prodotto trasmette i valori derivanti dal recupero e dall'upcycling
	B) Valore identitario	Il prodotto è in grado di diventare simbolo di un metodo produttivo basato sulla sostenibilità?	1- il prodotto non suscita interesse	5- il prodotto suscita interesse e spinge l'utente ad approfondire il tema della sostenibilità
	C) Protagonismo visivo	Il modulo appare come protagonista all'interno dell'assieme/ambiente nel quale è inserito?	1- il modulo è nascosto o difficilmente visibile	5- il modulo appare come componente centrale
	D) Coerenza progettuale	Il modulo, considerando il suo aspetto ed il metodo produttivo, risulta coerente nell'assieme e nel contesto in cui è introdotto?	1- il modulo risulta visivamente fuori luogo e concettualmente incoerente rispetto al contesto	5- il modulo risulta coerente concettualmente e formalmente rispetto al contesto



NOME: So1
FUNZIONE: sostenere
DESCRIZIONE: espositore modulare
INDICE COMPATIBILITÀ: 3.53

FT	A	B	C	D
4	5	3	4	4
FL	A	B	C	D
3	4	3	3	2
VE	A	B	C	D
3.5	4	2	5	3
VC	A	B	C	D
3.5	3	2	5	4

Commenti: sistema modulare, adattabile con accorgimenti ridotti a diverse tipologie di oggetti.



NOME: So2
FUNZIONE: sostenere
DESCRIZIONE: seduta
INDICE COMPATIBILITÀ: 3.28

FT	A	B	C	D
2.75	4	2	2	3
FL	A	B	C	D
3.25	4	2	4	3
VE	A	B	C	D
3.5	3	4	4	3
VC	A	B	C	D
4.25	5	4	4	4

Commenti: seduta funzionale implementabile anche in ambiente esterno, necessita di una base sviluppata ad hoc.



NOME: So3
FUNZIONE: sostenere
DESCRIZIONE: traliccio per piante rampicanti
INDICE COMPATIBILITÀ: 3.5

FT	A	B	C	D
3.75	4	5	3	3
FL	A	B	C	D
3.25	4	3	4	2
VE	A	B	C	D
2.5	3	2	1	4
VC	A	B	C	D
4.75	5	5	4	5

Commenti: struttura modulare, comunica rispetto e supporto alla vita.



NOME: So4
FUNZIONE: sostenere
DESCRIZIONE: espositore di bottiglie
INDICE COMPATIBILITÀ: 3.01

FT	A	B	C	D
4	3	5	4	4
FL	A	B	C	D
2.75	4	3	1	3
VE	A	B	C	D
2.25	2	2	3	2
VC	A	B	C	D
2.25	2	1	4	2

Commenti: prodotto dalla facile realizzazione e componenti ridotti, richiede perforazioni di specifiche forme e dimensioni.



NOME: Se1
FUNZIONE: dividere
DESCRIZIONE: pannello per mobile
INDICE COMPATIBILITÀ: 2.60

FT	A	B	C	D
3	1	3	4	4
FL	A	B	C	D
2	1	2	3	2
VE	A	B	C	D
2.5	3	4	1	2
VC	A	B	C	D
3	3	3	3	3

Commenti: necessita di perforazioni ridotte per essere funzionale, componente di un assieme complesso sviluppato su misura.



NOME: Se2
FUNZIONE: dividere
DESCRIZIONE: pannello divisore
INDICE COMPATIBILITÀ: 3.61

FT	A	B	C	D
3.75	4	5	3	3
FL	A	B	C	D
3.25	4	3	4	2
VE	A	B	C	D
3.25	4	5	2	2
VC	A	B	C	D
4.5	4	5	4	5

Commenti: forte valore comunicativo, dimensioni semi-standardizzabili.



NOME: Se3
FUNZIONE: dividere
DESCRIZIONE: pannello strutturale
INDICE COMPATIBILITÀ: 2.60

FT	A	B	C	D
3	4	2	3	3
FL	A	B	C	D
2	1	2	4	1
VE	A	B	C	D
2.5	3	4	2	1
VC	A	B	C	D
3	3	3	4	2

Commenti: prodotto con stringenti requisiti strutturali.



NOME: Se4
FUNZIONE: dividere
DESCRIZIONE: pannello divisore
INDICE COMPATIBILITÀ: 2.6

FT	A	B	C	D
3	2	3	3	4
FL	A	B	C	D
2	2	2	3	1
VE	A	B	C	D
2.5	3	4	2	1
VC	A	B	C	D
3	2	3	4	3

Commenti: il prodotto necessita il più delle volte di una progettazione su misura.



NOME: Fi1

FUNZIONE: filtrare

DESCRIZIONE: griglia di ventilazione

INDICE COMPATIBILITÀ:
3.03

FT	A	B	C	D
3.5	2	4	4	4
FL	A	B	C	D
3	2	2	3	5
VE	A	B	C	D
2.5	2	2	3	3
VC	A	B	C	D
2.67	2	2	2	2

Commenti: prodotto potenzialmente mono-componente, scarso valore economico e comunicativo.



NOME: Fi2

FUNZIONE: filtrare

DESCRIZIONE: supporto per articoli da bagno

INDICE COMPATIBILITÀ:
3.43

FT	A	B	C	D
4	4	5	4	3
FL	A	B	C	D
3.75	4	2	4	5
VE	A	B	C	D
3	2	2	4	4
VC	A	B	C	D
2	2	1	3	2

Commenti: prodotto che sfrutta le capacità di drenaggio del semilavorato, valore comunicativo ridotto.



NOME: Fi3

FUNZIONE: filtrare

DESCRIZIONE:

organizzatore per piatti

INDICE COMPATIBILITÀ:
2.33

FT	A	B	C	D
2.75	2	4	2	3
FL	A	B	C	D
2	2	2	1	3
VE	A	B	C	D
2.5	2	3	2	3
VC	A	B	C	D
1.75	2	1	2	2

Commenti: necessita di perforazioni specifiche e fa parte di un assieme da sviluppare su misura.



NOME: Fi4

FUNZIONE: filtrare

DESCRIZIONE: contenitore per posate

INDICE COMPATIBILITÀ:
3.91

FT	A	B	C	D
4	4	4	5	3
FL	A	B	C	D
3.75	5	3	3	4
VE	A	B	C	D
4.5	5	3	5	5
VC	A	B	C	D
3.25	3	3	4	3

Commenti: prodotto mono-componente che sfrutta le caratteristiche del semilavorato.



NOME: Di1

FUNZIONE: diffondere

DESCRIZIONE: paralume

INDICE COMPATIBILITÀ:
3.28

FT	A	B	C	D
2.75	4	2	2	3
FL	A	B	C	D
3	3	3	4	2
VE	A	B	C	D
3.5	3	4	5	2
VC	A	B	C	D
4.75	5	5	4	5

Commenti: prodotto dal forte valore comunicativo, richiede diversi componenti aggiuntivi anche complessi.



NOME: Di2

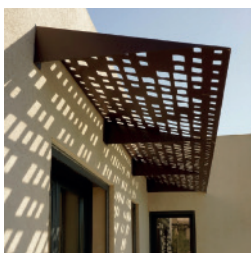
FUNZIONE: diffondere

DESCRIZIONE: diffusore del suono

INDICE COMPATIBILITÀ:
2.53

FT	A	B	C	D
2.25	1	3	3	2
FL	A	B	C	D
2.25	2	2	1	4
VE	A	B	C	D
3.25	4	4	3	2
VC	A	B	C	D
2.75	3	4	3	1

Commenti: componente di un assieme altamente tecnologico, poco coerente con il metodo di produzione.



NOME: Di3

FUNZIONE: diffondere

DESCRIZIONE: frangisole

INDICE COMPATIBILITÀ:
3.14

FT	A	B	C	D
3.25	4	4	2	3
FL	A	B	C	D
3	3	2	4	3
VE	A	B	C	D
3.25	4	3	2	4
VC	A	B	C	D
3	3	2	4	3

Commenti: prodotto con un mercato potenziale ridotto, dimensioni difficili da standardizzare.



NOME: Di4

FUNZIONE: diffondere

DESCRIZIONE: base computer portatile

INDICE COMPATIBILITÀ:
3.93

FT	A	B	C	D
4.75	4	5	5	5
FL	A	B	C	D
4	5	3	4	4
VE	A	B	C	D
3.5	3	2	5	4
VC	A	B	C	D
2.5	3	2	2	3

Commenti: prodotto semplice da realizzare e potenzialmente mono-componente, ridotto valore comunicativo





PROPOSTA PROGETTUALE

PARALUMI

La scelta della configurazione d'uso sulla quale incentrare lo sviluppo progettuale della tesi è stata presa a partire dagli esiti dell'analisi comparativa dei casi studio. Sebbene da quest'ultima siano emerse tipologie di reimpiego mediamente più idonee, in particolare in termini di costi e facilità di produzione, la progettazione si è orientata verso lo sviluppo di paralumi, in quanto **superiori sul parametro del valore comunicativo. Trattandosi infatti della prima applicazione concreta di questo metodo di produzione, la capacità di comunicarne il valore e le potenzialità diventa un obiettivo prioritario.** A livello visivo ciò avviene grazie al contrasto tra il calore della luce e la freddezza del metallo ed agli effetti luminosi generati dalla trama perforata. La luce inoltre, mettendo in risalto le piccole imperfezioni del modulo, rende maggiormente percepibile ed apprezzabile l'origine del materiale. Dal punto di vista progettuale, scegliere un prodotto complesso permette di provare la versatilità del metodo e la sua capacità di generare manufatti con caratteristiche specifiche. La scelta dei paralumi quindi non risponde solo a esigenze di praticità produttiva, ma anche alla necessità di comunicare il valore intrinseco del materiale ed il potenziale formale di un prodotto recuperato.

LAMPADE

I paralumi non sono prodotti autonomamente funzionali, ma sono componenti di assiemmi complessi, ovvero le lampade; all'interno di esse hanno la funzione principale di diffondere e direzionare la luce emessa dalla sorgente luminosa. La progettazione si è concentrata quindi su una serie di 3 lampade, le quali prevedono l'integrazione di paralumi ottenuti tramite la strategia proposta. Sviluppare una lampada nella sua interezza è reso possibile dalle capacità tecniche di un'azienda come la Vibel Group, la quale, essendo in grado di produrre i moduli, ha anche la competenza di realizzare eventuali componenti metallici aggiuntivi.

REQUISITI

-Valorizzazione del recupero: il prodotto deve valorizzare il paralume, evidenziandone le caratteristiche ed il metodo di produzione da cui derivano.

-Efficienza del recupero: i moduli devono avere caratteristiche che ne permettano una distribuzione efficiente in fase di nesting, così da massimizzare la quantità di materiale recuperato.

-Facilità di assemblaggio e disassemblaggio: la progettazione tiene in conto la possibilità di montare e smontare agevolmente i vari componenti della lampada, in modo da permetterne la manutenzione.

Questa caratteristica inoltre semplifica alcuni aspetti logistici come lo stoccaggio ed il trasporto.

-Semplicità costruttiva e produttiva: i moduli devono essere realizzati tramite un numero ridotto di lavorazioni, prediligendo processi semplici e facilmente ripetibili. Inoltre il prodotto deve integrare il minor numero di componenti aggiuntivi, anch'essi agevolmente ottenibili e possibilmente acquistabili.

-Solidità strutturale: le lampade devono essere stabili e durevoli, così da massimizzare il loro ciclo di vita.

-Unicità dei concept: i modelli devono distinguersi tra loro dal punto di vista: estetico, dei materiali e delle lavorazioni. Lo sviluppo di prodotti diversi conferma la già illustrata versatilità del processo produttivo. Inoltre l'analisi di modelli con caratteristiche differenti permette di valutare e quantificare le implicazioni di sostenibilità economica e ambientale derivanti da scelte progettuali diverse.

SELEZIONE DELLE MINUTERIE

Al fine di progettare con un componente secondario derivato, è necessario conoscere i prodotti da cui esso viene generato; è stata perciò necessaria una fase di ricerca e mappatura dei componenti realizzati in grandi quantità dall'azienda, e appartenenti alla categoria di

minuterie metalliche. La ricerca, svolta in stretta collaborazione con Claudio Rizzolo, ha evidenziato una serie di prodotti compatibili, tra questi sono stati selezionati tre componenti i quali hanno soddisfatto i seguenti requisiti:

- una produzione di più di 2000 unità nel 2025.
- prodotto ricorrente e/o con caratteristiche morfologiche simili ad altri prodotti realizzati frequentemente
- spessore compreso tra uno e due millimetri, ritenuto ideale per la categoria di reimpiego selezionata.
- forma funzionale nel diffondere la luce.

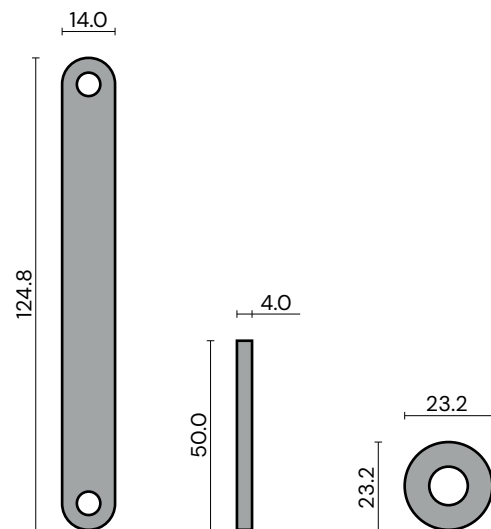


Fig. 3.1 Minuterie selezionate

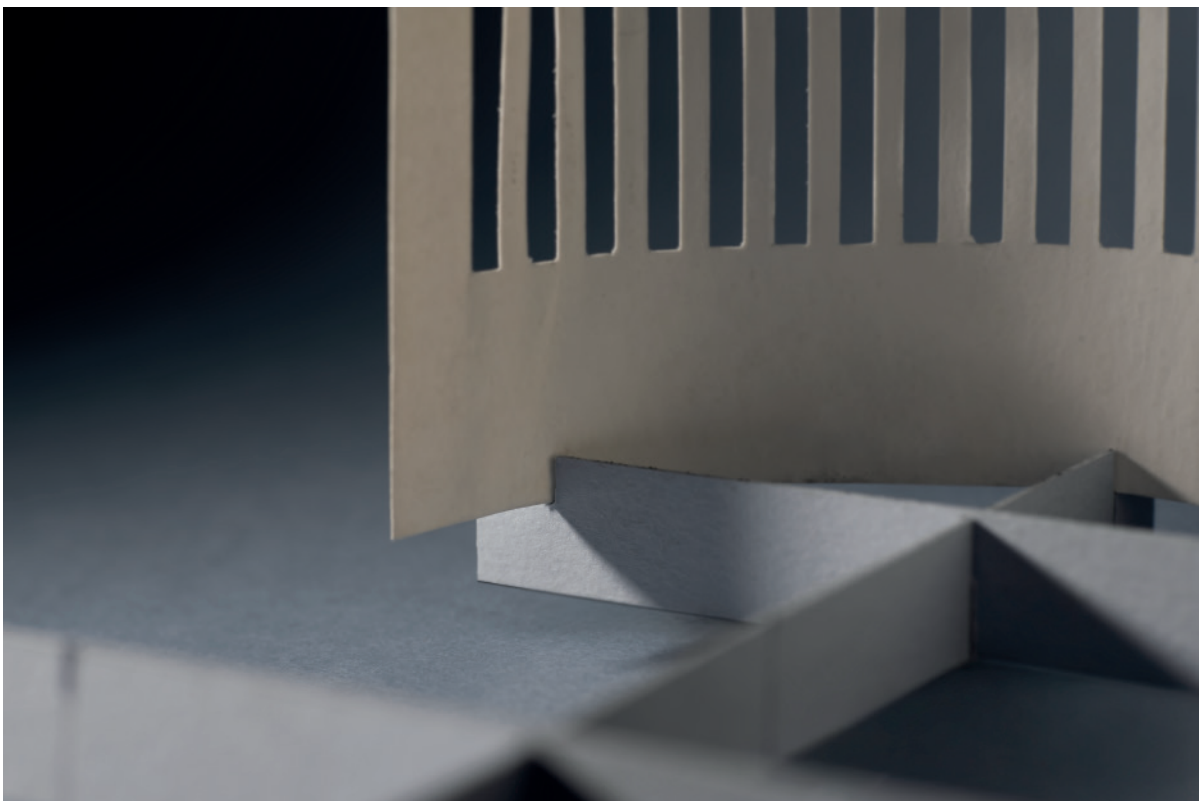
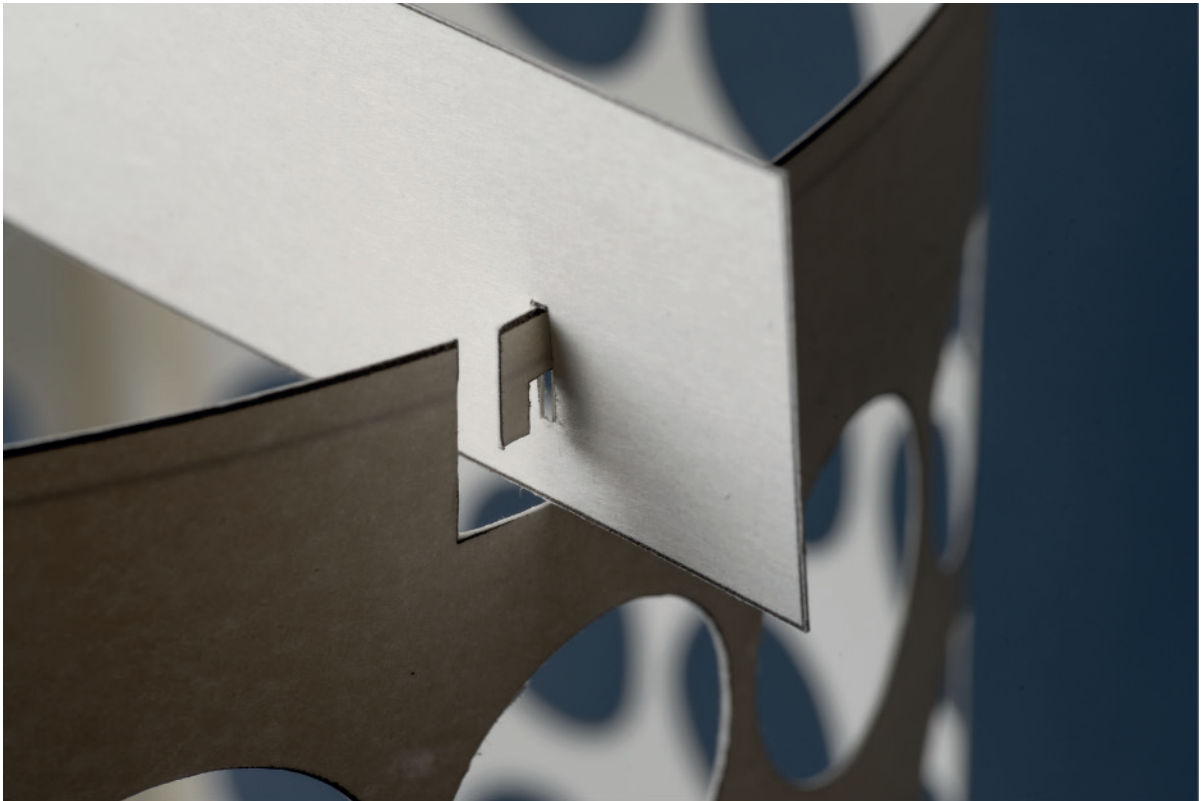
A partire dai componenti selezionati si è iniziato ad abbozzare delle prime ipotesi di prodotto, affinate tramite gli step illustrati di seguito.

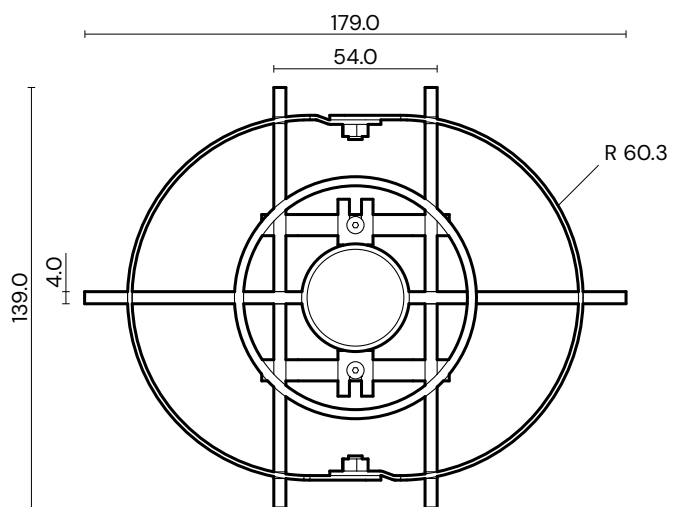
SPERIMENTAZIONI SU CARTA

La fase di modellazione è stata preceduta da un'approfondita ricerca di casi studio di lampade con paralumi metallici perforati. L'analisi dei prodotti ha evidenziato diverse logiche realizzative e di assemblaggio, come anche soluzioni per ottenere la desiderata diffusione e/o indirizzamento della luce. Partendo da questo quadro di riferimento è iniziato il processo di sperimentazione con modelli in carta, durato alcune settimane. Lavorando direttamente sul materiale è stato possibile testare diverse tipologie di assemblaggio e interazione tra componenti, riconoscendone i vantaggi ed i limiti. Inoltre la modellazione su manufatti fisici ha permesso una definizione consapevole delle forme, dimensioni e proporzioni adatte ad un assieme complesso come nel caso di una lampada; tutti aspetti e dinamiche che difficilmente emergono tramite un'analisi svolta esclusivamente a computer o attraverso la sola modellazione digitale. Parallelamente allo sviluppo dei modelli sono stati effettuati dei test sui diffusori, in particolare sono stati utilizzati film plastici e cartacei specifici; essi però si sono rivelati inefficaci, soprattutto se posizionati ad una breve distanza dalla fonte luminosa.



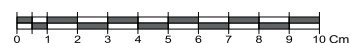
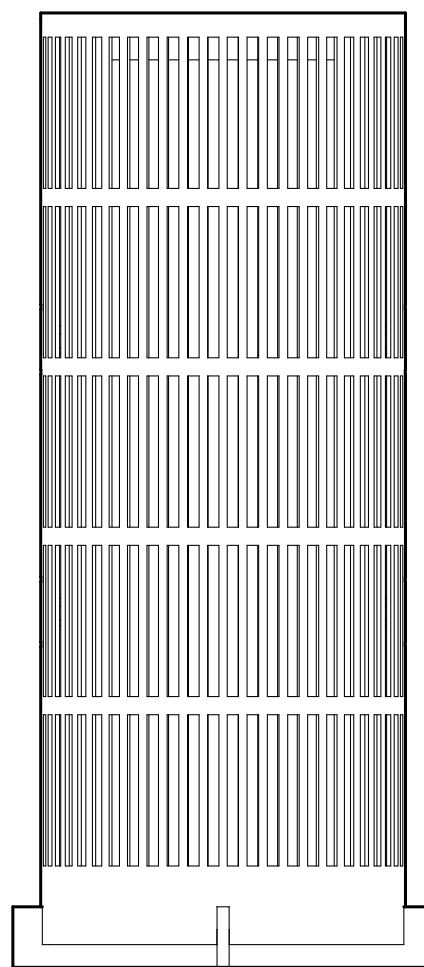
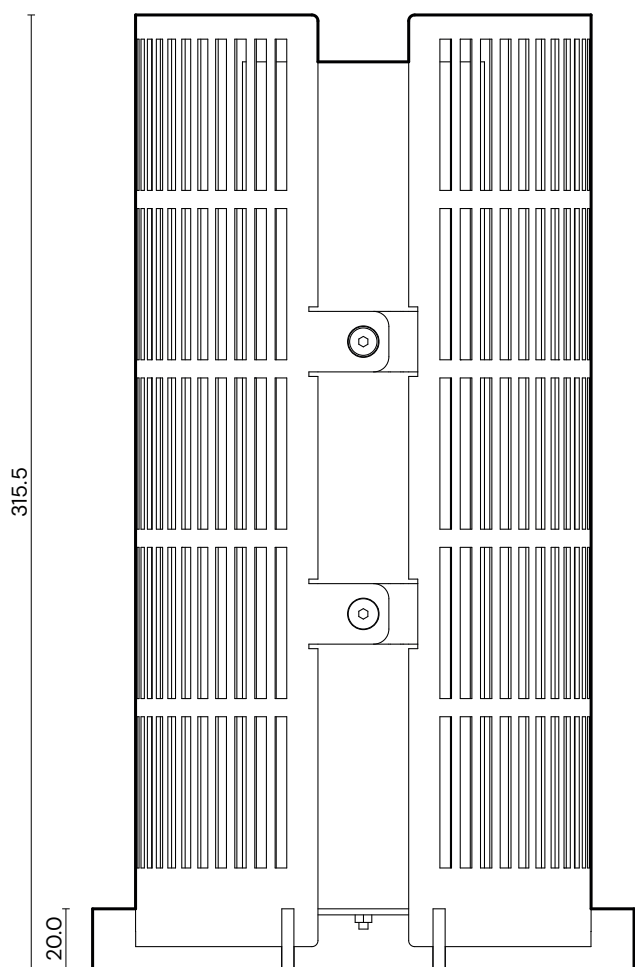
Fig. 3.2 Residui dei modelli in carta

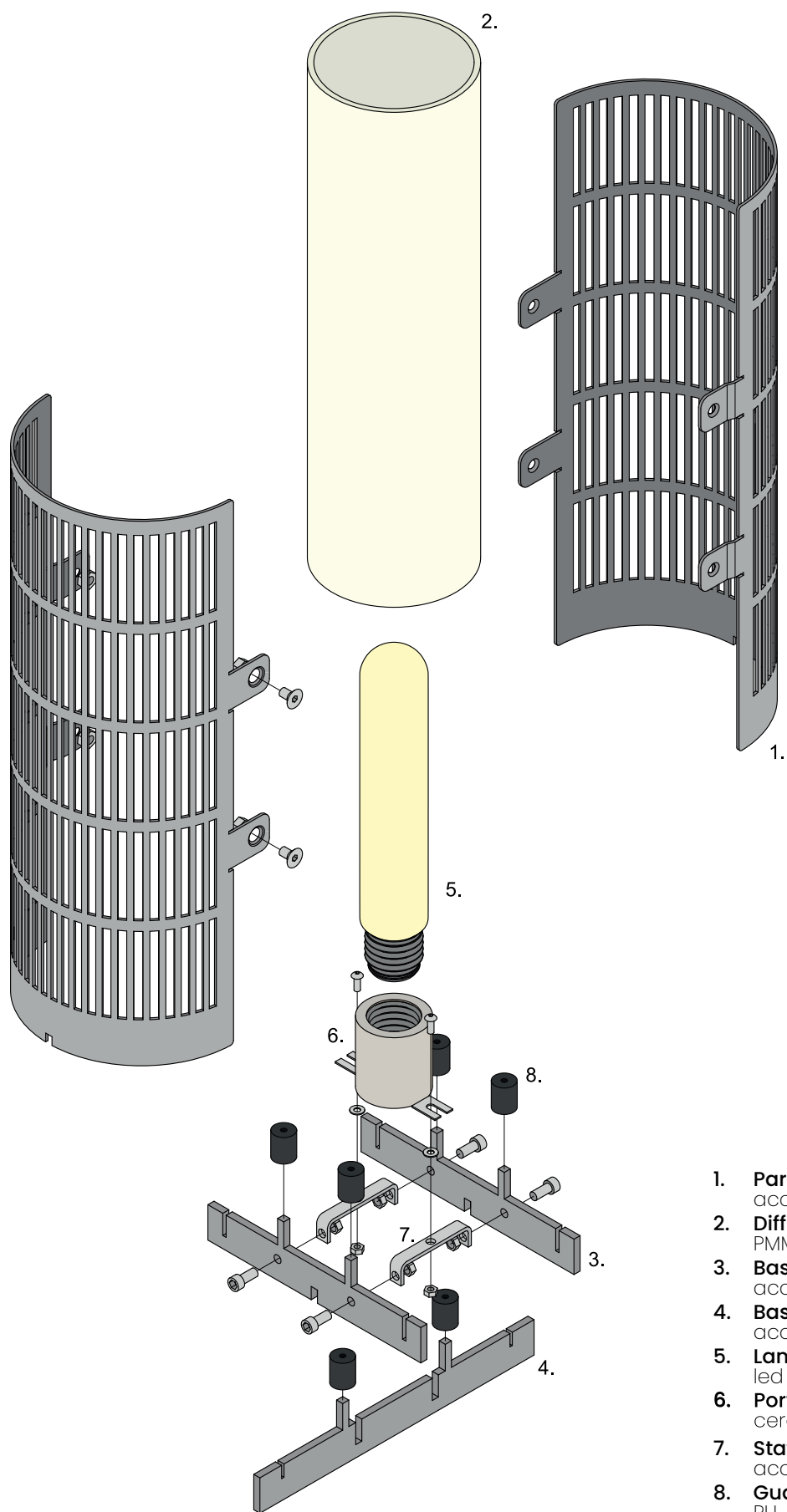




CONCEPT 1

Lampada da tavolo composta da 2 paralumi identici, inseriti su una base composta da 3 pezzi, sulla quale vengono inoltre posizionati il diffusore e le staffette di sostegno al portalampada

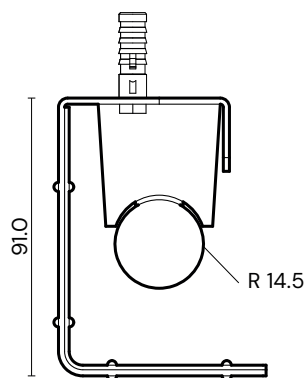




1. **Paralume**
acciaio
2. **Diffusore**
PMMA
3. **Base s**
acciaio
4. **Base L**
acciaio
5. **Lampada T30**
led
6. **Porta lampada**
ceramica
7. **Staffetta**
acciaio
8. **Guaina**
PU

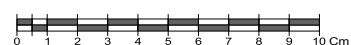
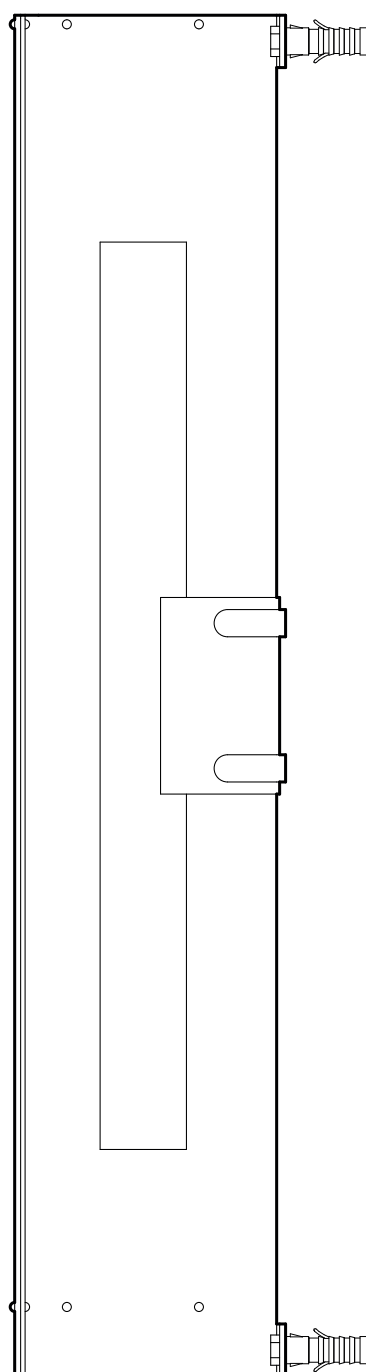
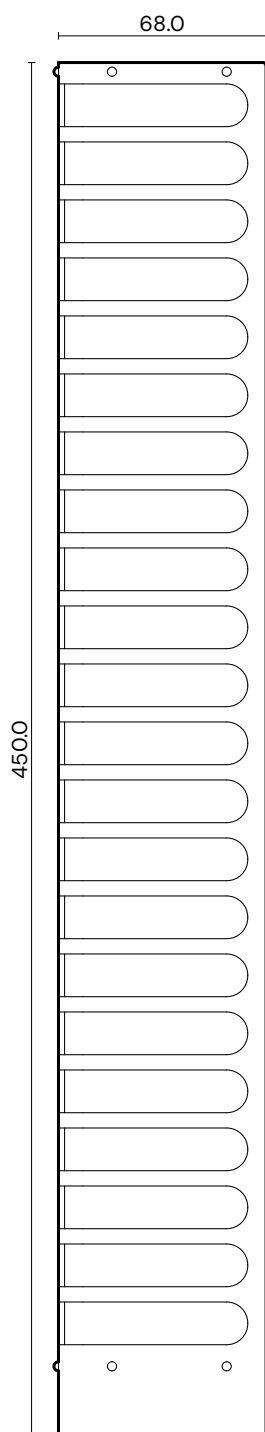


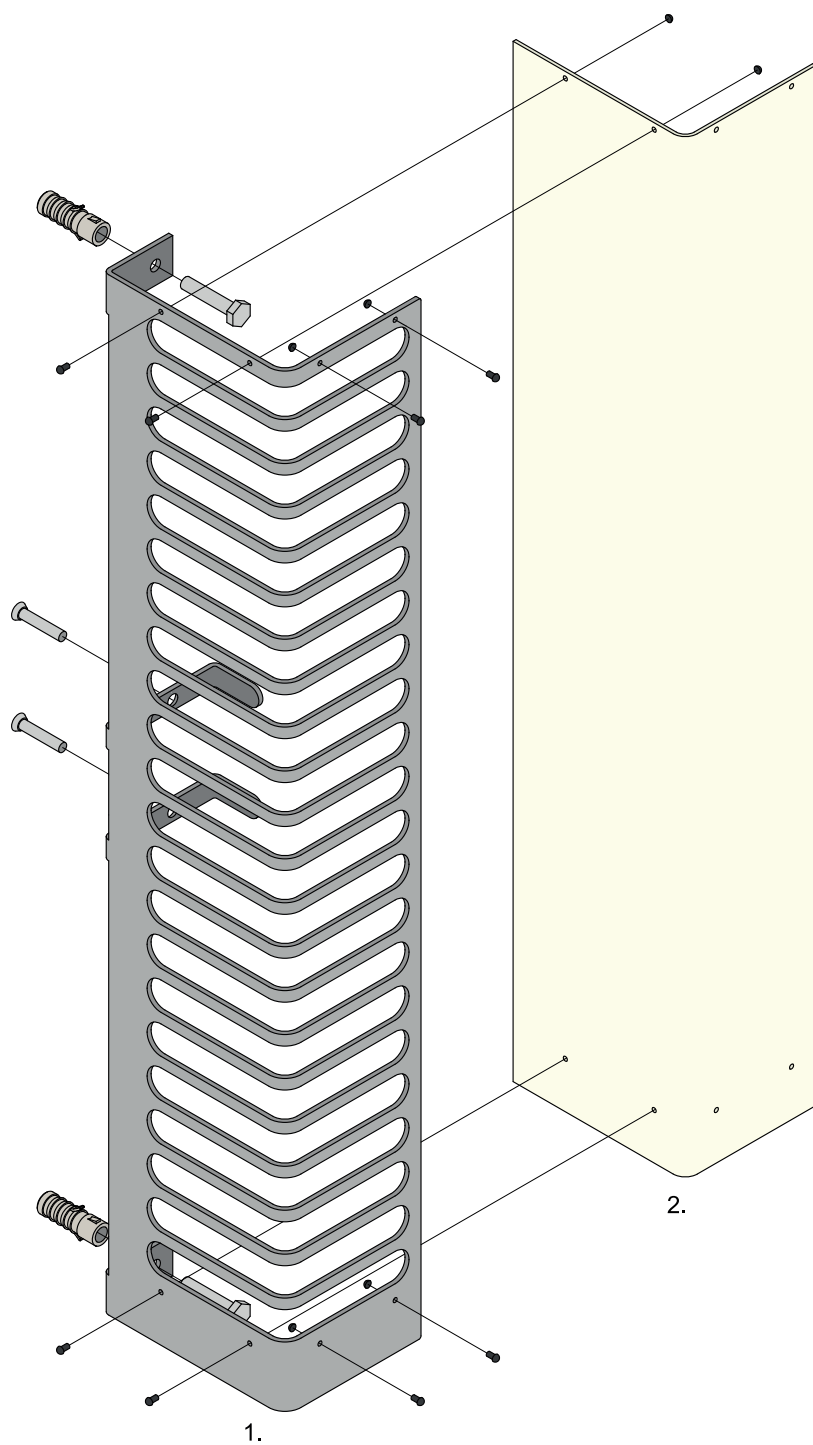




CONCEPT 2

Lampada applique angolare, composta da quattro pezzi senza contare la viteria. Non richiede componenti aggiuntivi realizzati dalla Vibel





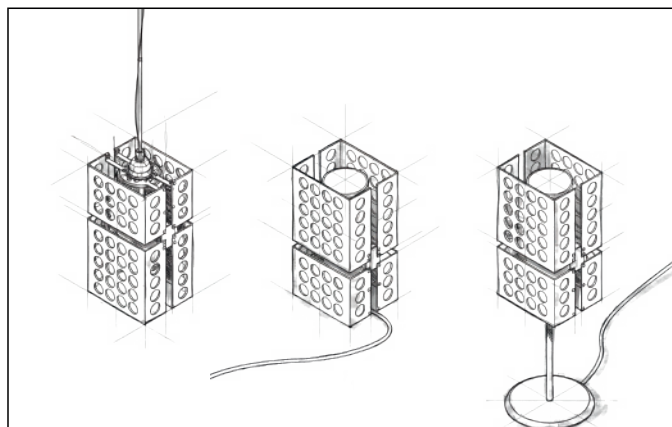
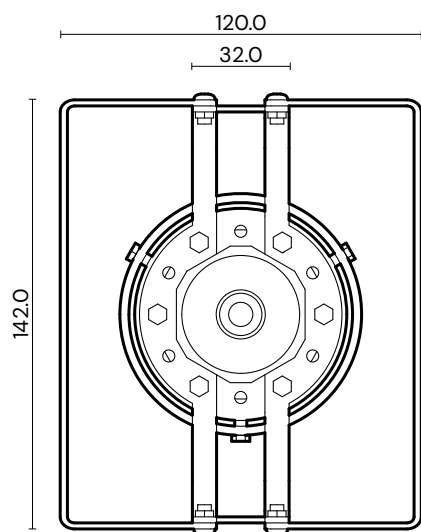
1. **Paralume**
acciaio
2. **Diffusore**
PC
3. **Porta lampada**
plastica
4. **Lampada S14**
led



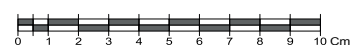
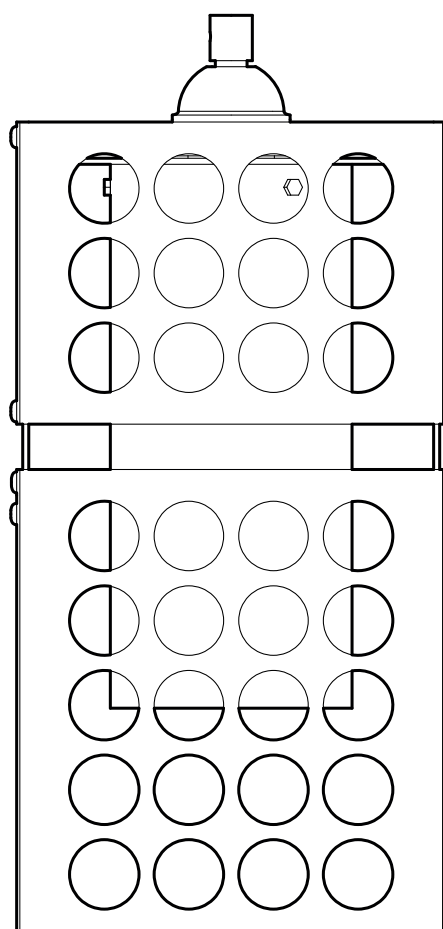
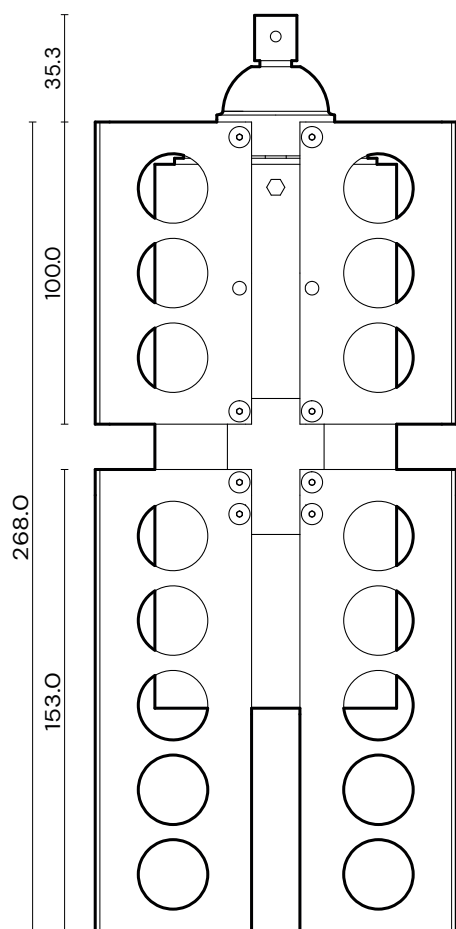


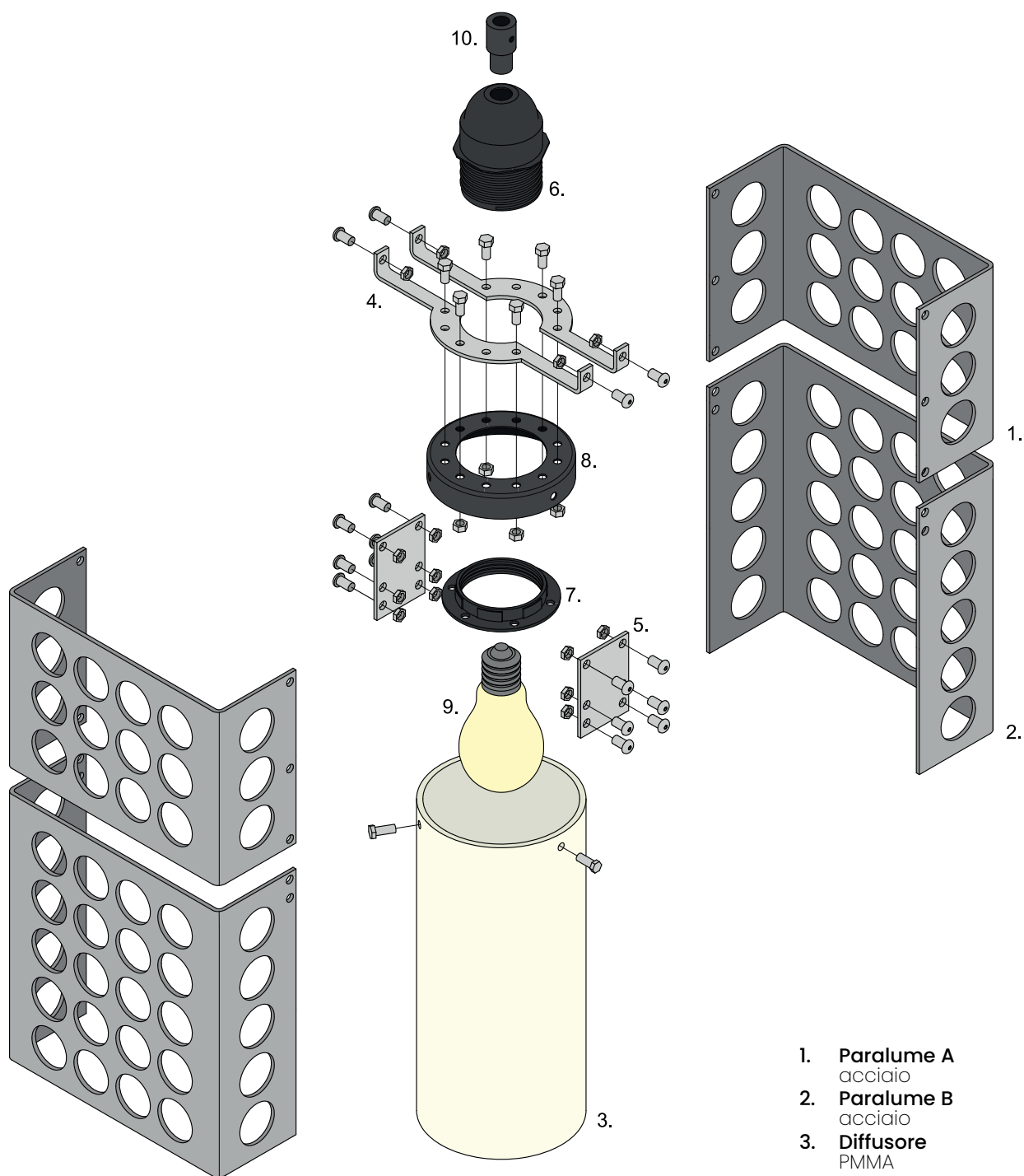
CONCEPT 3

Lampada a sospensione composta da due coppie uguali di paralumi, con due configurazioni supplementari



CONFIGURAZIONI





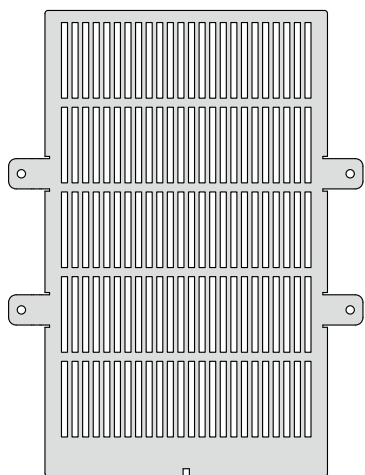
1. **Paralume A**
acciaio
2. **Paralume B**
acciaio
3. **Diffusore**
PMMA
4. **Staffetta**
acciaio
5. **Piastra**
acciaio
6. **Porta lampada**
plastica
7. **Ghiera**
plastica
8. **Anello**
acciaio
9. **Lampada**
led
10. **Serra cavo**
acciaio





SVILUPPI DEI PARALUMI

Di seguito vengono riportati, in scala 1:5, gli sviluppi dei paralumi integrati nei tre concept, rappresentativi di come i semilavorati si presentano una volta terminato il taglio laser e rimossi i componenti interni. Per ognuno vengono indicati il numero di perforazioni derivanti dai componenti primari e le lavorazioni da effettuare su di essi per ottenere il paralume finito.

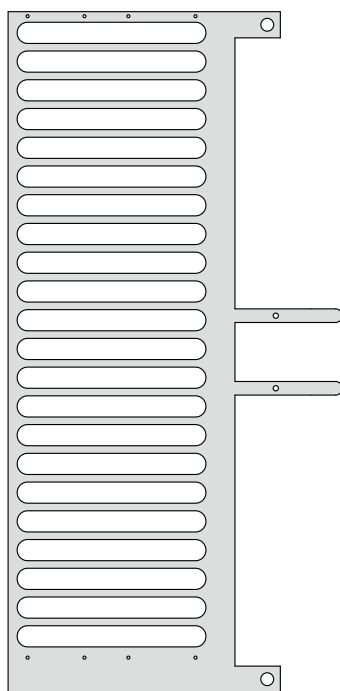


CONCEPT 1

N° perforazioni: 120

Lavorazioni:

- satinatura
- svasatura
- calandratura
- piegatura

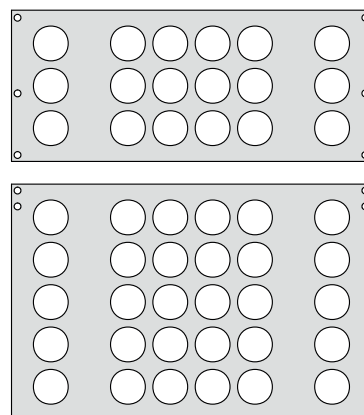


CONCEPT 2

N° perforazioni: 22

Lavorazioni:

- satinatura
- svasatura
- piegatura



CONCEPT 3

N° perforazioni: 48

Lavorazioni:

- satinatura
- svasatura
- piegatura





ANALISI DELLA SOSTENIBILITÀ

METODO DI ANALISI

Per garantire comparabilità tra i due metodi si pone come obiettivo comune la produzione dello stesso numero di componenti primari.

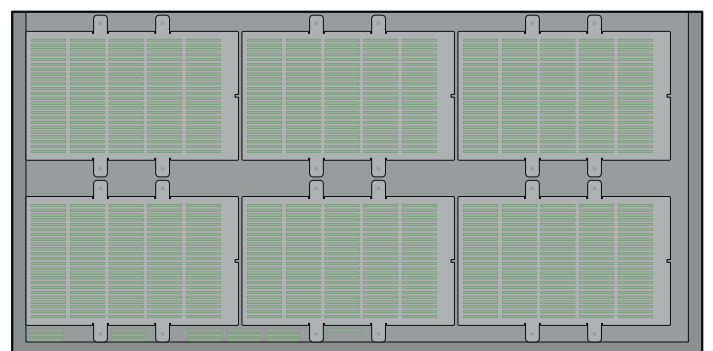
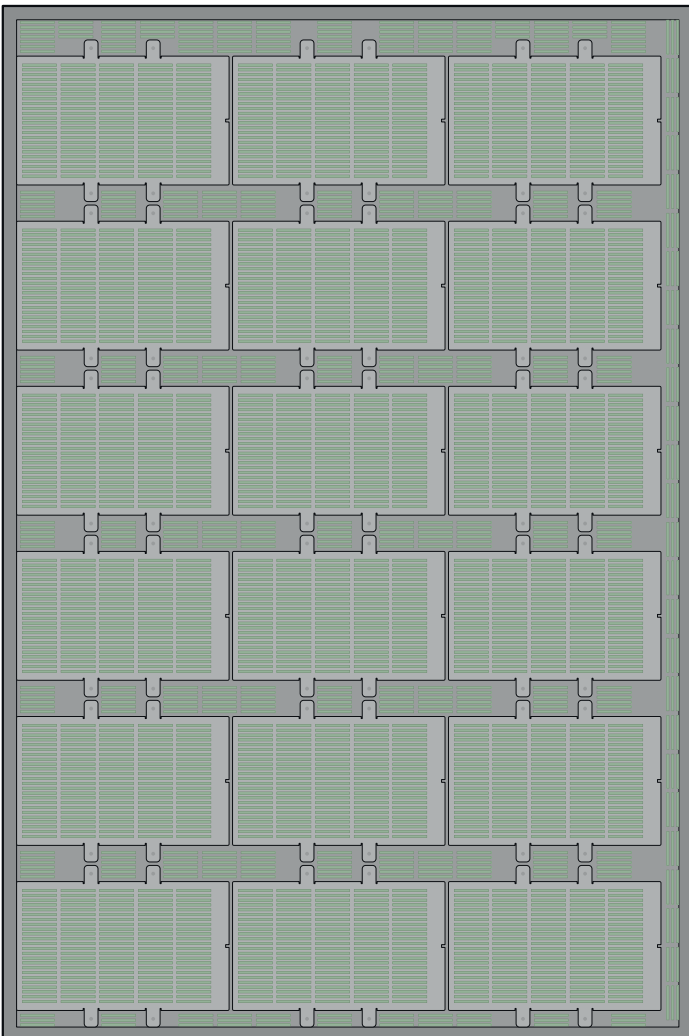
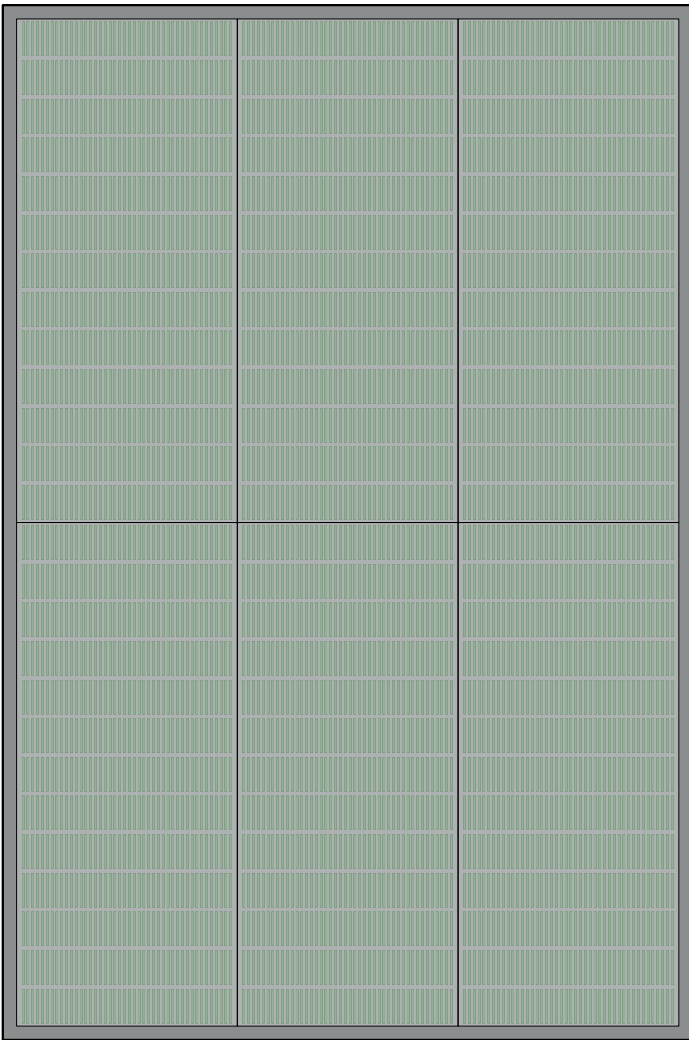
Nel seguente capitolo **vengono analizzate le implicazioni, in termini di sostenibilità ambientale e sostenibilità economica**, dell'applicazione del metodo di produzione sviluppato, come anche dei diversi approcci progettuali implementati nei tre concept.

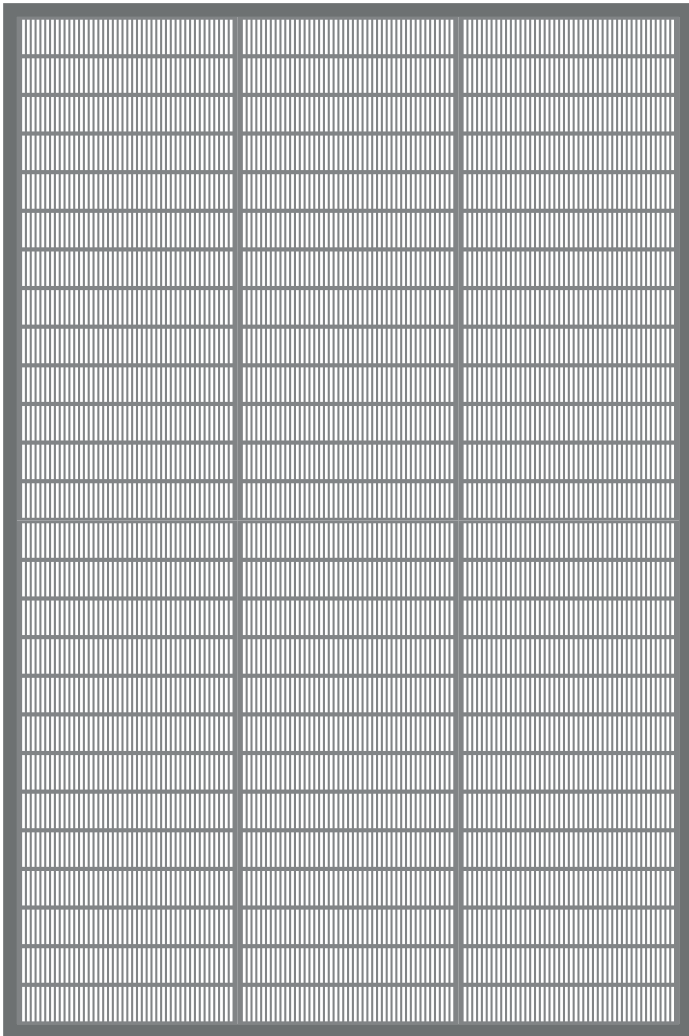
ANALISI DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Lo studio prende in esame i componenti primari, selezionati nel per lo sviluppo delle tre lampade (vedi paragrafo 3.2.2). Per ognuno di essi **ne viene simulata, e successivamente confrontata, la produzione tramite l'approccio tradizionale e quello alternativo**. L'analisi non ha come finalità quella di determinare il metodo più efficiente in termini di resa di produzione della minuteria, poiché, come illustrato nei capitoli precedenti, il nesting tradizionale è ottimizzato a questo fine, pertanto superiore; l'obiettivo bensì è quello di confrontare e quantificare benefici e difetti complessivi di un metodo orientato alla massima efficienza per il singolo componente ed uno orientato alla coproduzione di due semilavorati funzionali.

COMPONENTE C1

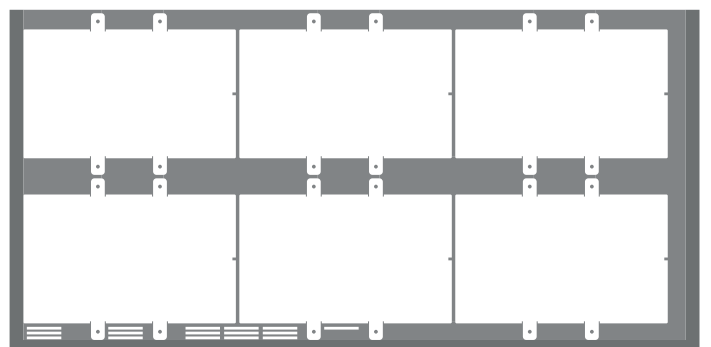
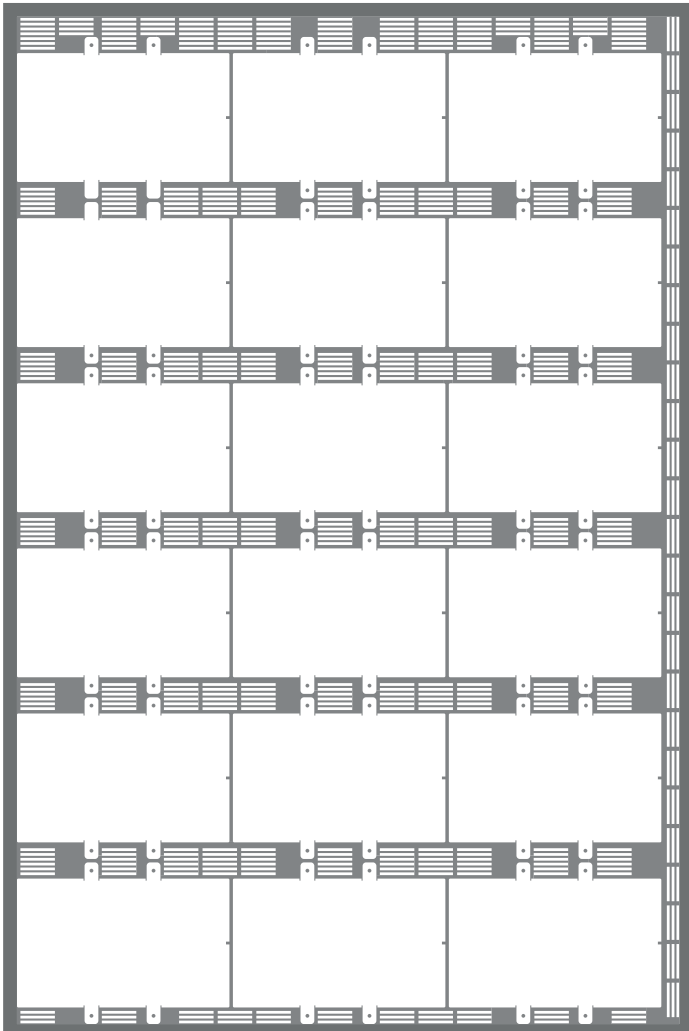
Vengono confrontati i due metodi per la produzione di **3430 componenti**. Il nesting tradizionale usa **1.5 m²** di lamiera mentre il nesting alternativo ne usa **2.0m²**, con un incremento del **33%** rispetto all'approccio classico. Nella seconda disposizione vengono prodotti **24 moduli**.

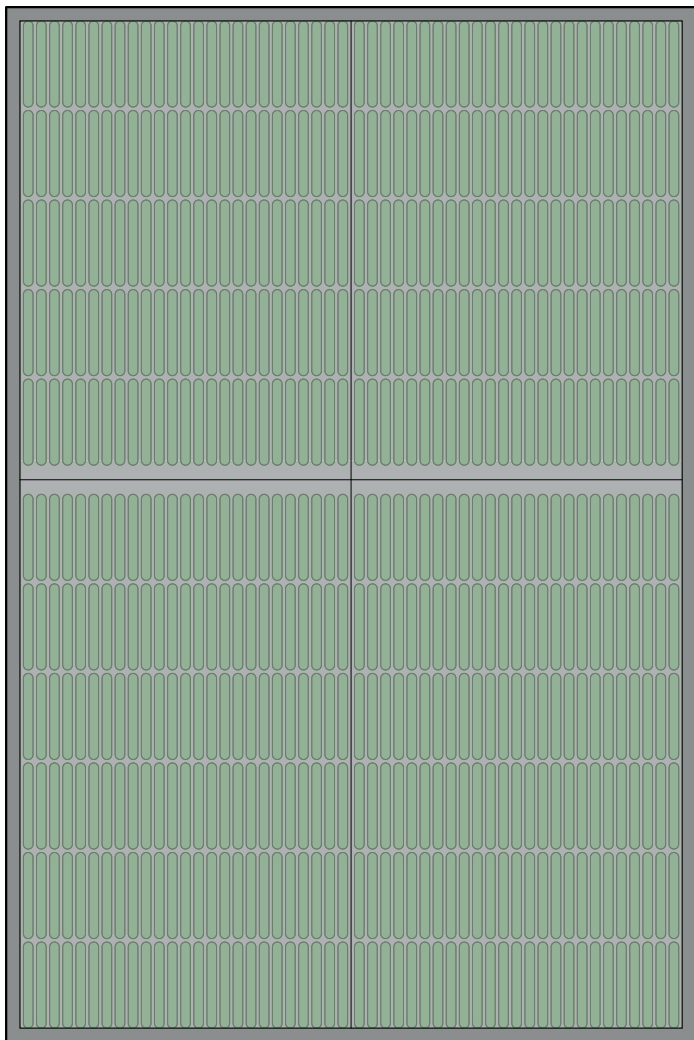




COMPONENTE C1

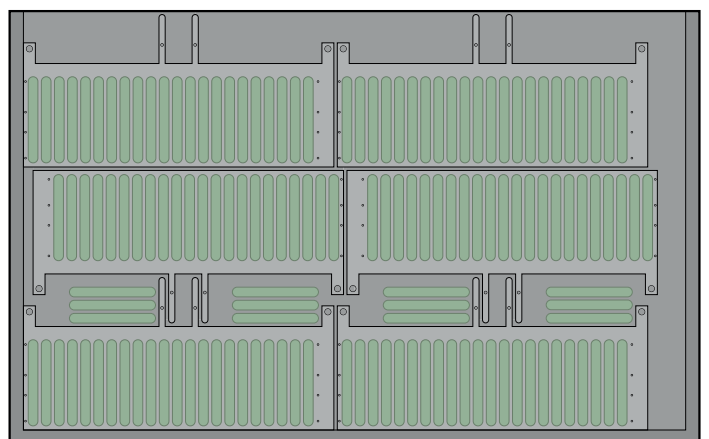
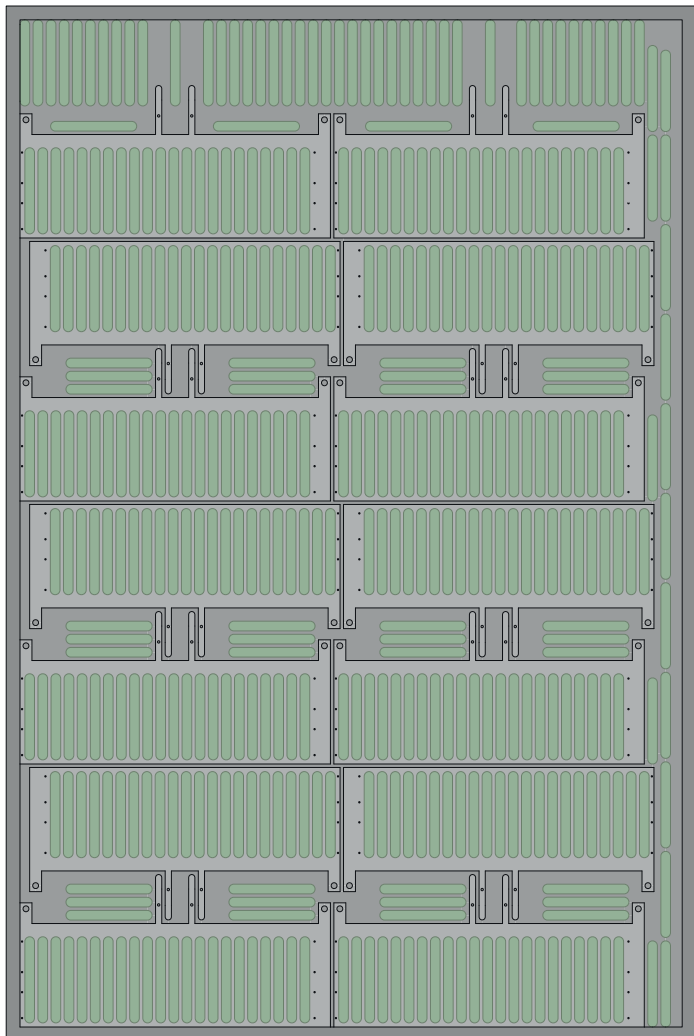
Vengono confrontati i due metodi per la produzione di scarti. Attraverso il nesting tradizionale vengono prodotti **0,81 m²** di lamiera residua, corrispondente al **54,3%** della lamiera di iniziale, equivalente a 9,6 Kg su 17,7 Kg. Il nesting alternativo produce **0,47 m²** di lamiera di residua, corrispondente al **23,4%** della lamiera di partenza, equivalente a 5,5 Kg su 23,5 Kg.

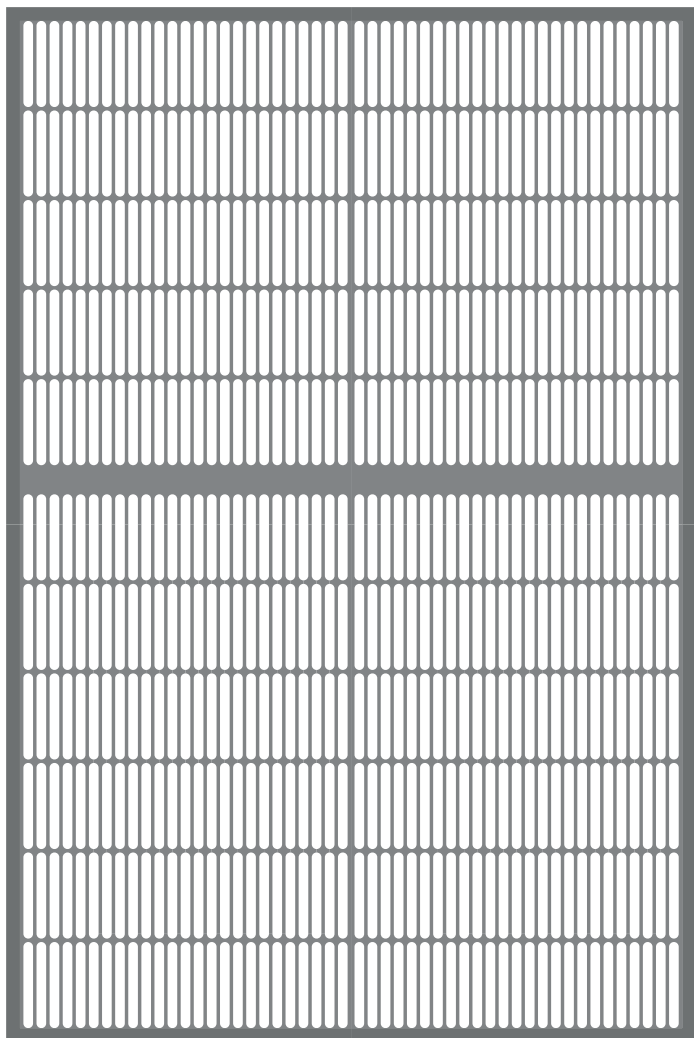




COMPONENTE C2

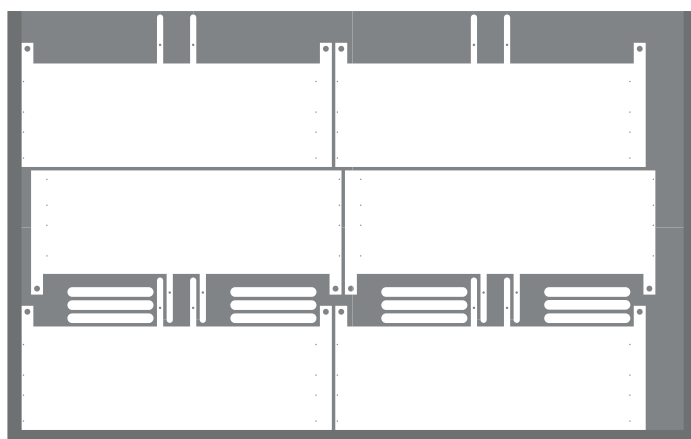
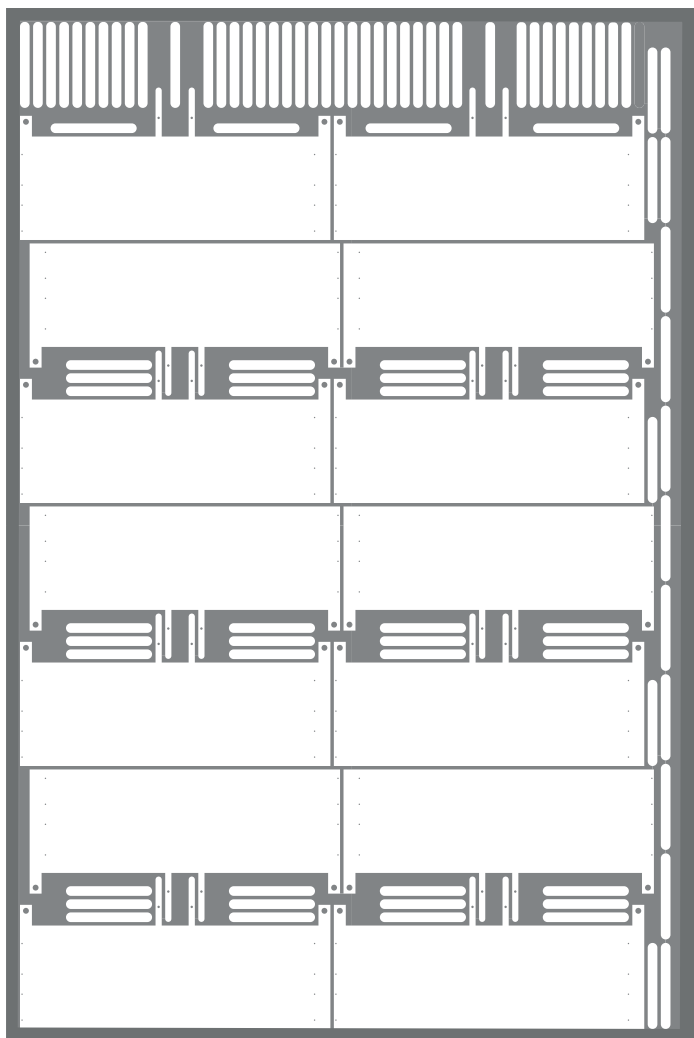
Vengono confrontati i due metodi per la produzione di **550 componenti**. Il nesting tradizionale usa **1.5 m²** di lamiera mentre il nesting alternativo ne usa **2.1 m²**, con un incremento del **42%** rispetto all'approccio classico. Nella seconda disposizione vengono prodotti **20 moduli**.

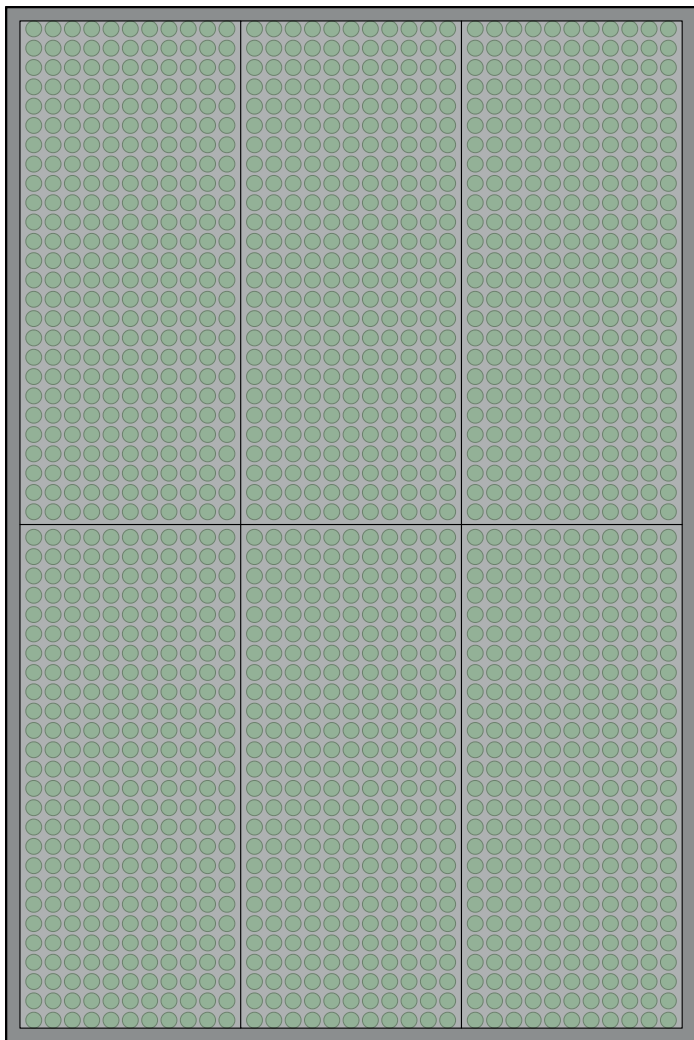




COMPONENTE C2

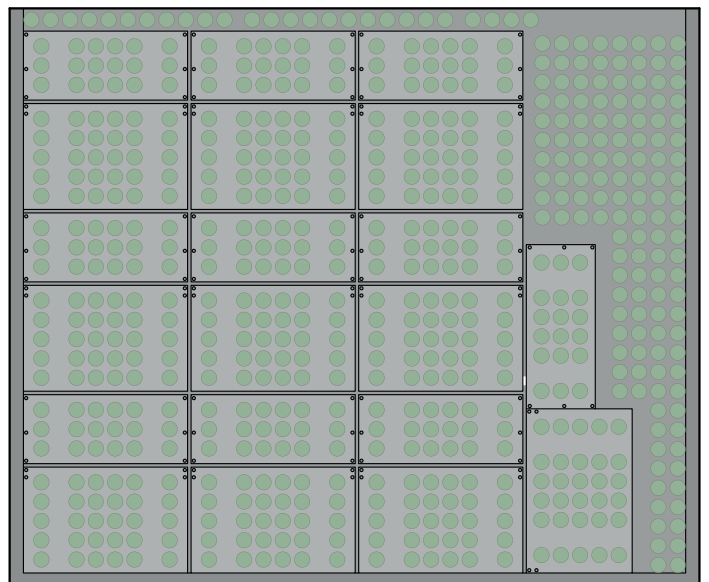
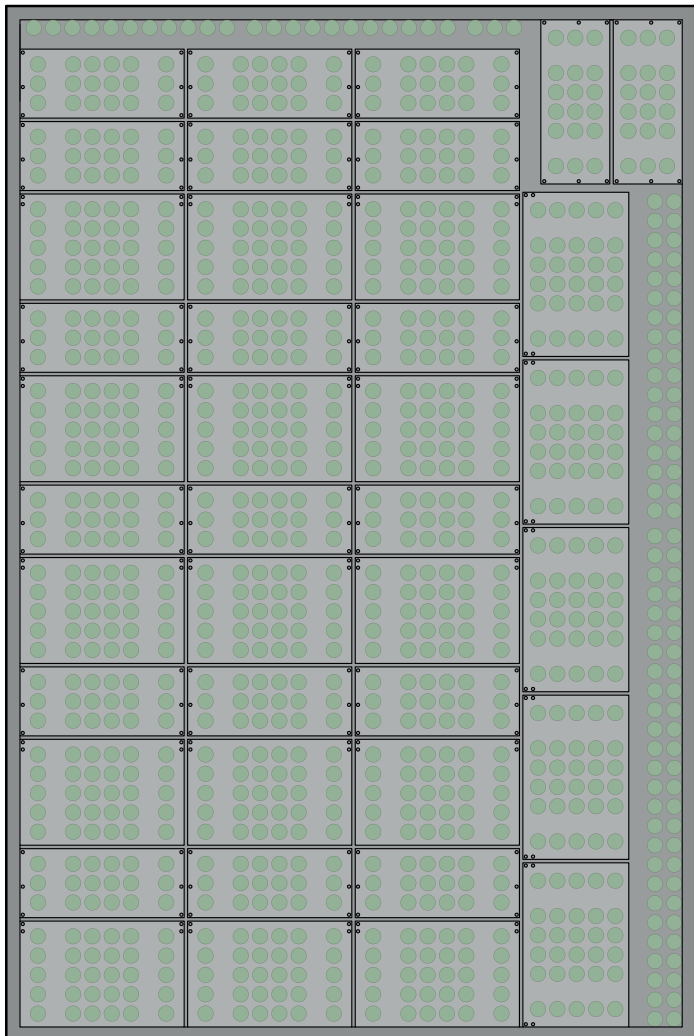
Vengono confrontati i due metodi per la produzione di scarti. Attraverso il nesting tradizionale vengono prodotti **0,59 m²** di lamiera residua, corrispondente al **39,6%** della lamiera iniziale, equivalente a 9,3 Kg su 23,5 Kg. Il nesting alternativo produce **0,58 m²** di lamiera di residua, corrispondente al **27,3%** della lamiera di partenza, equivalente a 9,1 Kg su 33,4 Kg.

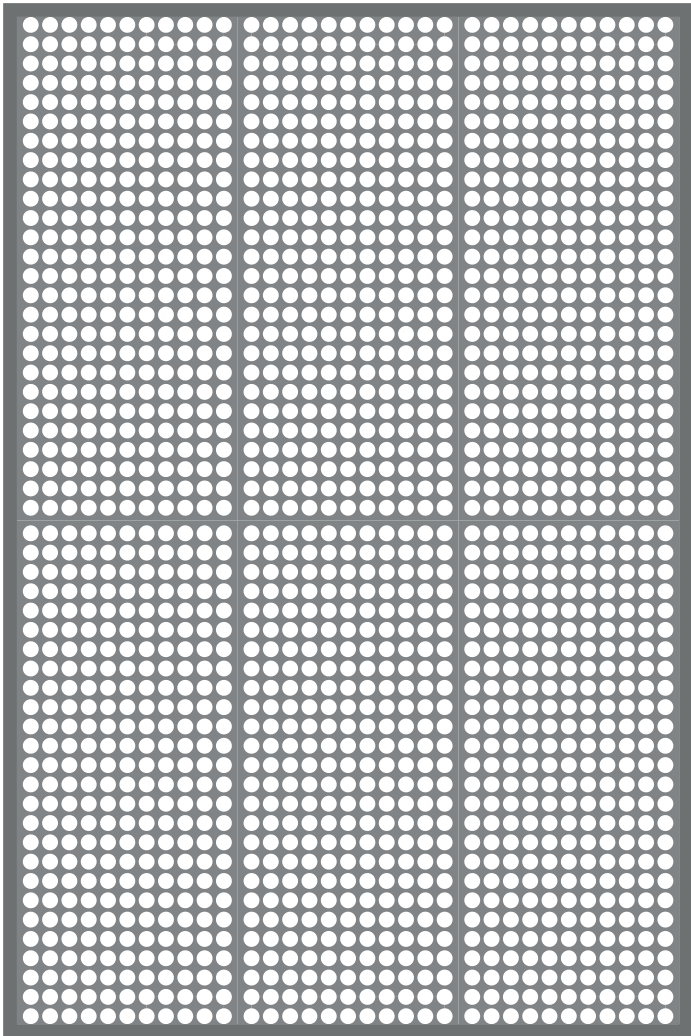




COMPONENTE C3

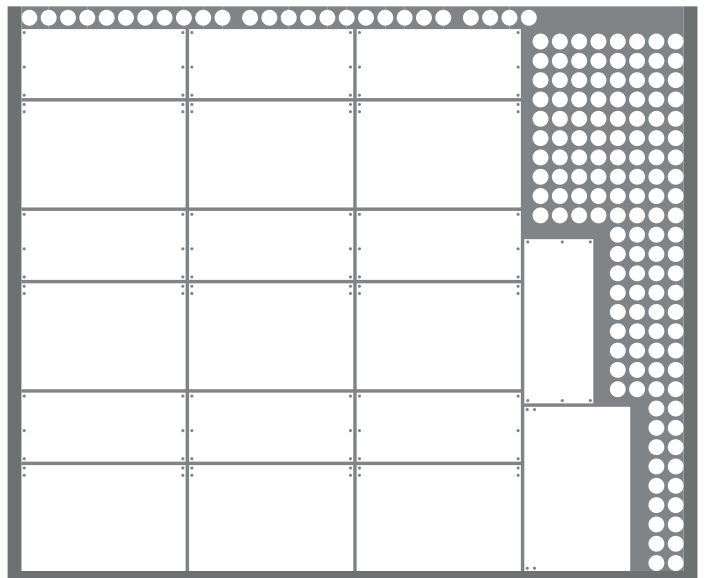
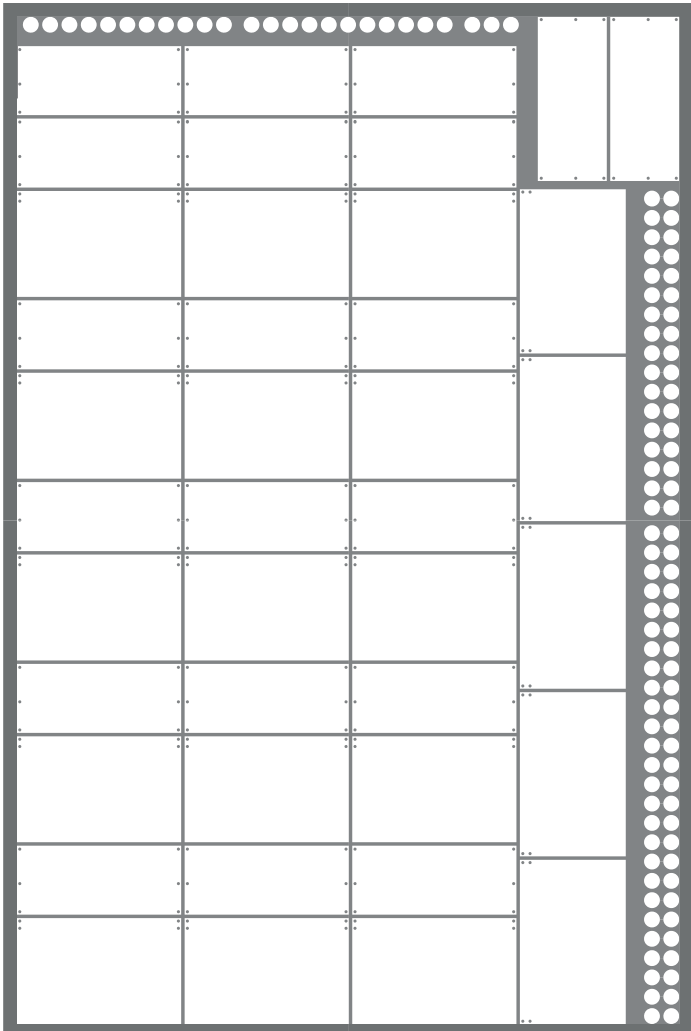
Vengono confrontati i due metodi per la produzione di **1716 componenti**. Il nesting tradizionale usa **1.5 m²** di lamiera mentre il nesting alternativo ne usa **2.3 m²**, con un incremento del **56%** rispetto all'approccio classico. Nella seconda disposizione vengono prodotte **30 coppie di moduli**.





COMPONENTE C3

Vengono confrontati i due metodi per la produzione di scarti. Attraverso il nesting tradizionale vengono prodotti **0,79 m²** di lamiera residua, corrispondente al **52,5%** della lamiera iniziale, equivalente a 12,3 Kg su 23,5 Kg. Il nesting alternativo produce **0,42 m²** di lamiera di residua, corrispondente al **17,9%** della lamiera di partenza, equivalente a 6,6 Kg su 36,7 Kg.



ANALISI DELLA SOSTENIBILITÀ ECONOMICA

Definite le implicazioni ambientali del metodo, si passa all'analisi economica dei 3 concept, con l'obiettivo finale di ricavarne il costo integrale di produzione, ma anche di verificare gli effetti di approcci progettuali diversi. La definizione dei valori parte dai dati ricavabili dalle simulazioni svolte precedente, in particolare il costo del materiale ed il costo del taglio laser. Successivamente vengono integrate le spese relative alle lavorazioni ulteriori sul modulo, alla produzione e lavorazione dei componenti aggiuntivi, o l'acquisto di questi ultimi. Per quanto riguarda i componenti realizzati e lavorati internamente vengono proposti, all'interno di parentesi, 2 scenari con volumi di produzione differenti, ottenendo così un range di costo.

Nota: i costi dei moduli piatti, in tutti e tre i concept, vengono definiti da due voci:

- Costo del materiale: corrispondente al costo della lamiera in più utilizzata rispetto al metodo tradizionale.
- Costo del taglio laser: corrispondente al solo taglio del perimetro del modulo ed eventuali perforazioni aggiuntive.

Il restante materiale e gli ulteriori

tagli che contribuiscono alla realizzazione del modulo, sono da considerare costi associati alla produzione dei componenti primari, pertanto vengono esclusi dalla valutazione seguente.

• Concept 1

- **Modulo piano:**
2,40€, di cui 1,50€ taglio laser e 0,90€ materiale.
- **Lavorazioni ulteriori x modulo:**
12,50€ (20u.) / 10,50€ (50u.)
- **Base completa:**
11,50€ (20u.) / 10,80€ (50u.)
- **Coppia staffette:**
8€ (20u.) / 4,20€ (100u.).
- **Diffusore:**
4,50€
- **Portalampada:**
0,50€
- **Lampada:**
5,50€
- **Cavo:**
5,90€
- **Viteria e guaine:**
1,5€

TOTALE: 58,70€ - 67,20€

• Concept 2

- **Modulo piano:**
2,25€, di cui 0,75€ taglio laser e 1,50€ materiale.
- **Lavorazioni ulteriori x modulo:**
7,20€ (20u.) / 5,30€ (50u.)
- **Diffusore:**
9,80€, di cui 1,80€ materiale e 8€ lavorazione
- **Portalampada:**
7,00€
- **Lampada:**
7,80€

TOTALE: 32,15€ - 34,05€

• Concept 3

- **Modulo piano:**
2,05€, di cui 0,75€ taglio laser e
1,30€ materiale.
 - **Lavorazioni ulteriori x modulo:**
9,50€ (20u.) / 6,50€ (50u.)
 - **Piastre laterali:**
0,80€ / 4,00€
 - **Coppia staffette:**
12€ (20u.) / 7,60€ (100u.).
 - **Diffusore:**
3,00€
 - **Anello**
0,70€
 - **Portalampada:**
1,00€
 - **Lampada:**
2,70€
 - **Cavo:**
5,90€
 - **Serracavo:**
0,60€
 - **Viteria e guaine:**
1,00€
- TOTALE: 40,40€ - 49,60€**

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Come era previsto la strategia di coproduzione necessita di una quantità di materiale di partenza superiore, con incrementi che vanno dal 33% al 56% confrontandoli ai rispettivi metodi tradizionali. Nonostante la maggiore quantità di materiale iniziale, in tutti e tre le simulazioni, il processo alternativo ha prodotto una quantità di scarto assoluta inferiore, anche se nella seconda essa sia molto simile tra i 2 metodi. Di maggior rilievo, rispetto alla quantità di scarto assoluta, è la quantità di scarto prodotta in reazione alla quantità di materiale utilizzata, in questo caso il metodo sviluppato è sensibilmente superiore in tutti e tre i casi studio, in particolare nel terzo dove solo il 17,9% del materiale iniziale diventa scarto, a differenza del 52,7% del metodo tradizionale. In seguito vengono evidenziate caratteristiche e approcci progettuali che favoriscono l'implementazione del metodo. In primo luogo, i componenti primari di dimensioni ridotte e con una forma regolare consentono una distribuzione più efficiente

all'interno del modulo, con una conseguente riduzione della quantità di materiale aggiuntivo necessaria. Inoltre, all'aumentare del numero di unità inseribili all'interno del modulo cresce anche la quantità di metallo recuperabile, poiché, a un maggior numero di componenti corrisponde infatti un maggior numero di margini tra di essi, questi ultimi, quando rientrano nel profilo del modulo, costituiscono a tutti gli effetti la struttura del semilavorato secondario, e quindi una risorsa. Una seconda caratteristica rilevante è la forma del modulo, da essa dipende infatti l'efficienza con cui esso è distribuibile all'interno della lamiera; un modulo dalla forma semplice e regolare, come quello del concept tre, garantisce un grado di sfruttamento del materiale maggiore rispetto ad un modulo dalla forma irregolare, ciò permette inoltre di semplificare e velocizzare il processo di nesting. A livello di sostenibilità economica, il modulo ottenuto attraverso la coproduzione, comporta un costo inferiore rispetto alla sua produzione tramite il metodo tradizionale, in quanto diversi dei costi relativi al materiale e al taglio sono coperti dalla produzione del componente primario da cui deriva. In quest'ottica è emblematico il modulo del concept uno, il quale presenta il maggior numero di componenti per modulo; da questa caratteristica consegue:

1. Il minor incremento di superficie necessario
2. Il maggior risparmio di lavorazione laser

Il concept uno pertanto presenta la più marcata differenza di costo di produzione del modulo tra metodo tradizionale e alternativo, ovvero 2,40€/modulo contro 12,70€/modulo.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato utile a valutare l'efficacia di un approccio di upcycling sistematico applicato agli sfridi derivanti dal taglio laser di lamiere. Un primo elemento emerso è che, qualora ci siano i presupposti per un'applicazione efficace, l'upcycling risulta essere una soluzione preferibile al riciclaggio in quanto quest'ultimo implica la fusione del materiale al suo stato base, con un dispendio energetico non trascurabile e una perdita del valore aggiunto già incorporato; d'altro canto riutilizzare i semilavorati consente di conservare tale valore, evitando al contempo processi particolarmente onerosi.

Le analisi e le simulazioni condotte confermano che il metodo di coproduzione permette uno sfruttamento sensibilmente maggiore della materia prima, da cui deriva una minore quantità di scarto. Inoltre, gli stessi semilavorati, qualora venissero prodotti tramite il metodo tradizionale, comporterebbero una produzione di scarto molto maggiore, in quanto i componenti interni sarebbero uno sfrido, ed un costo sensibilmente maggiore, in quanto il taglio delle singole unità non verrebbe coperto da un secondo componente. Va tuttavia evidenziato che tali risultati non sono automatici,

l'adozione del metodo alternativo richiede infatti, soprattutto nelle sue fasi iniziali, un investimento e un impegno considerevoli: l'analisi attenta della produzione, l'individuazione della categoria di reimpiego più adatta, lo sviluppo del modulo e la definizione di una strategia di commercializzazione costituiscono attività complesse e onerose in termini di tempo e risorse. Tuttavia, una volta completate queste fasi preliminari, è possibile riapplicare il metodo in maniera continuativa e con minimi accorgimenti.

SVILUPPI FUTURI

In primo luogo emerge la necessità di sviluppare una strategia di comunicazione e dei canali di distribuzione adeguati, condizione necessaria affinché il prodotto recuperato trovi un effettivo sbocco sul mercato. In secondo luogo sarebbe interessante orientare la progettazione verso prodotti con un grado di complessità produttiva inferiore, manufatti più semplici potrebbero infatti tradursi in vari benefici come: maggiori quantità producibili, maggiore linearità di implementazione del metodo, vantaggi sul piano economico e ambientale, ed in fine estenderebbero le possibilità di reimpiego ad una più ampia gamma di prodotti, come ad esempio gli scheletri derivati dalla piegatura in serie.

SITOGRAFIA

- [1.1] <https://www.accademiainnovazione.it/disegno-parametrico-vantaggi-e-svantaggi/>
- [1.2] https://esab.com/it/eur_it/esab-university/blogs/what-is-a-nesting-system-and-why-do-you-need-one
- [1.3] <https://www.cmmlaser.it/il-nuovo-magazzino-a-torre-semplice-cmm//>
- [1.4] <https://barnobi.it/come-funziona-il-taglio-laser-in-carpenteria-metallica/>
- [1.5] <https://www.bystronic.com/che/it/lp/fiber-laser-vs-co2-laser-che>
- [1.6] <https://www.emmebisystem.it/presa-piegatrice-cose-e-come-funziona/>
- [1.7] <https://carpenteriafossano.it/la-calandratura-dei-metalli-cose-e-come-funziona/>
- [1.8] <https://www.treccani.it/>
- [1.9] <https://econatura.it/smaltimento/smaltimento-polveri-taglio-laser/>
- [1.10] <https://econatura.it/smaltimento/smaltimento-polveri-taglio-laser/>
- [1.11] <https://simplysrl.it/smaltimento/fanghi-molatura/>
- [2.1] <https://it.pg.com/blogs/economia-lineare-circolare-differenze-modelli-sostenibilita/>
- [2.2] <https://www.avvale.com/it/newsroom/circular-economy-nel-settore-manifatturiero>
- [2.3] <https://www.selcoerp.it/industria-manifatturiera/#gref>
- [2.4] https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/-story/20180301STO98928/20180301STO98928_en.pdf
- [2.5] <https://astrolabio.amiciidellaterra.it/node/3704>
- [2.6] <https://ollum.it/blog/emissioni-co2-per-settore/>
- [2.7] <https://www.promozioneacciaio.it/aree-tematiche/performance-ambientale/>
- [2.8] <https://tecnologiaanzi.blogspot.com/2018/01/i-metalli-parte-seconda.html>
- [2.9] <https://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/ambiente-o-produzione-di-acciaio-possibile-uscirne>
- [2.10] <https://www.tecnofornituresrl.it/alluminio>
- [2.11] <https://www.salviamolaforesta.org/tema/alluminio-domande-e-risposte>
- [2.12] https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/euric_metal_recycling_factsheet.pdf
- [2.13] <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1217501>
- [2.14] <https://www.okonrecycling.com/industrial-scrap-metal-recycling-steel-and-aluminum/what-are-non-metallic-contaminants/>
- [2.15] <https://verfassungsblog.de/upcycling-the-ongoing-battle/>

CREDITI FOTOGRAFICI

[Fig. 1.3] **Modellazione 3D**, © Tenado. <https://tenado.de/en/metall/metal-3d/>

[Fig. 1.4] **Nesting**, © Canadian metal working. <https://www.canadianmetalworking.com/canadianfabricatingandwelding/article/automationsoftware/the-potential-of-cadcam-nesting>

[Fig. 1.5] **Macchinario di taglio fibra**, © Cassetto. <https://www.cassetto.com/it/nuovo-laser-fibra-amada-ensis-3015-aj/>

[Fig. 1.6] **Macchina piegatrice**, © Cassetto. <https://www.cassetto.com/it/piegatrice-digitale-ibrida-amada-hg-8025-a-8-assi-controllati/>

[Fig. 1.8] **Griglie di appoggio incrostate**, © The fabricator. <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/lasercutting/reducing-headaches-associated-with-slag-on-laser-grating>

[Grafico 2.1] **Greenhouse gas emissions by the economy and GDP**, © Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Greenhouse_gas_emissions_by_the_economy_and_GDP,_EU,_Q4_2022_-_Q4_2025.png

[Fig. 2.1] **Ciclo integrale di produzione dell'acciaio**, © wwf. https://www.wwf.it/uploads/Report-WWF-Settore-acciaio_APPENDICE_A-1.pdf

[Fig. 2.3] **Incisione lead in**, © vandf. <https://www.vandf.co.uk/tooling/what-is-laser-cutting/>

RINGRAZIAMENTI

Dedico queste ultime righe a tutte le persone che, a vario titolo, hanno contribuito alla realizzazione di questa tesi.

Un ringraziamento particolare va a Claudio Rizzolo, titolare di Vibel Group, per avermi incentivato a intraprendere questa collaborazione e per il prezioso contributo nel delineare l'impostazione e gli obiettivi della tesi. Senza la sua disponibilità e la sua fiducia, questo progetto non avrebbe potuto prendere forma. Ringrazio inoltre tutti i ragazzi dell'azienda, i quali hanno messo a mia disposizione le loro conoscenze e le loro abilità.

Un sentito ringraziamento va al Professore Cristian Campagnaro, per la costante disponibilità dimostrata e per avermi guidato in questo percorso, grazie ai suoi continui suggerimenti e spunti di riflessione sento di poter approcciare i miei futuri progetti con una consapevolezza nuova.

Infine, ringrazio i miei genitori, per il loro supporto continuo e per avermi dato la possibilità di vivere questa esperienza universitaria. A loro devo la serenità con cui ho affrontato questo percorso.

