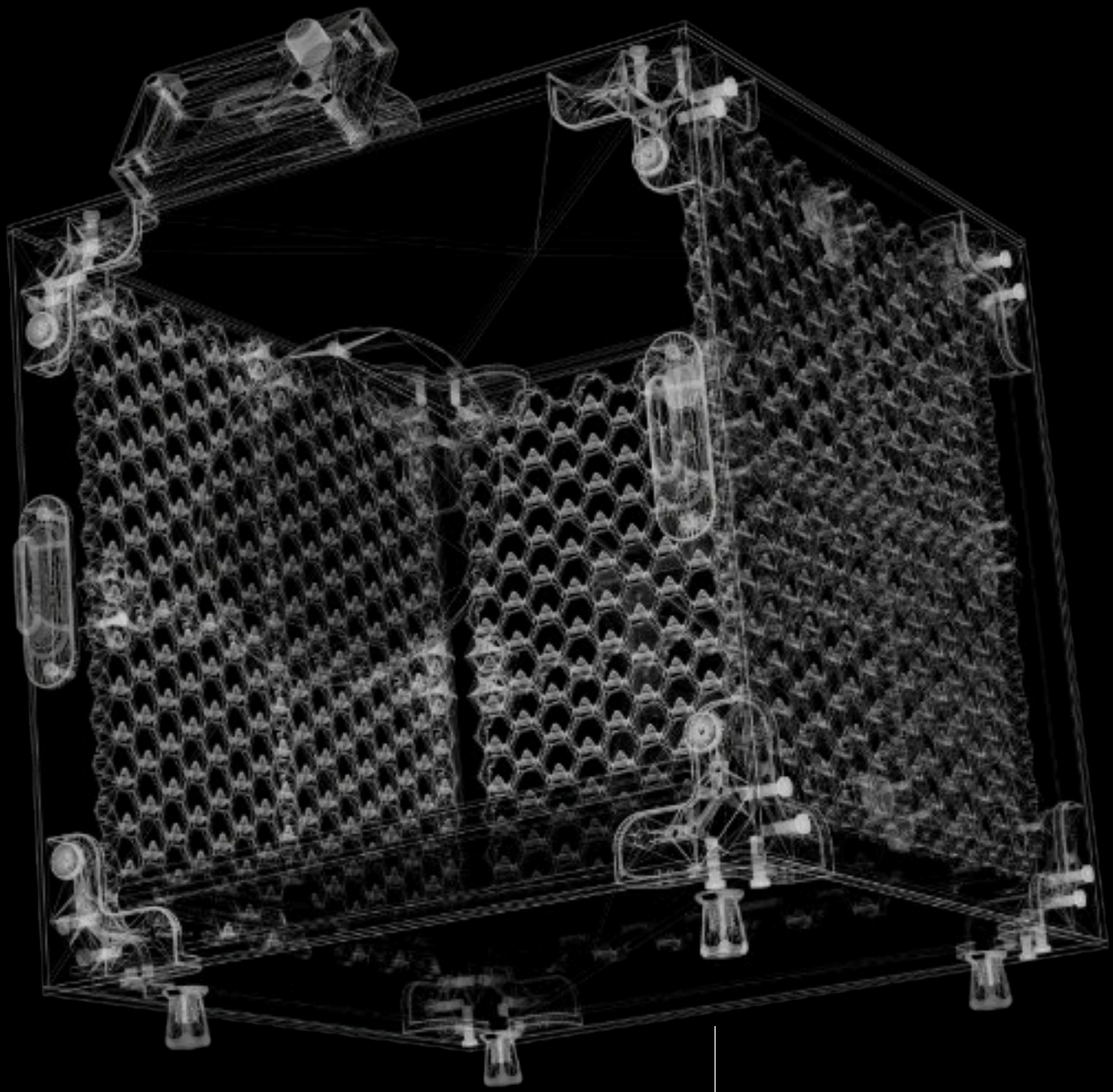
NEEDRA: DESIGN PER LA DEGENZA DEGLI ANIMALI SELVATICI

Dall'analisi dei bisogni allo sviluppo di una camera calda modulare attraverso il metodo progettuale



Politecnico di Torino

Tesi di Paulato Lorenzo e Marocco Francesco
Relatore Valpreda Fabrizio A.A. 2025-2026

Needra: design per la degenza degli animali

Dall'analisi dei bisogni allo sviluppo di una camera calda modulare attraverso il metodo progettuale.

Politecnico di Torino

Tesi di Paulato Lorenzo e Marocco Francesco
Relatore Valpreda Fabrizio A.A. 2025-2026

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale al Professor Fabrizio Valpreda per averci guidati, con straordinaria professionalità, pazienza e una perfetta misura di empatia e ironia, attraverso le complessità di questo progetto, spronandoci costantemente alla curiosità e alla sperimentazione.

Ringraziamo in oltre il C.R.A.S. ODV di Bernezzo per la loro disponibilità nell'ospitarci e nel fornirci tutte le informazioni utili allo svolgimento di questo progetto. All'entusiasmo e alla curiosità di Federico e Matteo nel supportarci durante le fasi di lavoro.

Abstract

Nell'ambito delle associazioni per la salvaguardia degli animali selvatici in difficoltà (C.R.A.S.) è importante seguire protocolli specifici e avere le giuste strumentazioni per il salvataggio. Migliaia di animali vengono soccorsi ogni anno solo in Piemonte, la cui sopravvivenza non è sempre dato certo. Le cause maggiori di queste morti sono dovute al freddo e alle condizioni di ipotermia in cui si trovano al momento del recupero. Si utilizzano quindi le camere calde per scaldare l'animale prima di ricevere ulteriori cure. Queste strutture, però, non sono pensate per essere adattate a specie differenti, risultando poco efficienti, ingombranti e molto costose.

Lo studio di questa tesi ha permesso di individuare metodologie e prove pratiche per sviluppare la prima versione di camera calda modulare, leggera ed economica, concepita come open-source per essere fruibile gratuitamente da tutti i centri che ne hanno bisogno. Per raggiungere questo obiettivo è stato fondamentale effettuare ricerche sul campo presso il C.R.A.S. ODV di Bernezzo, raccogliendo testimonianze e informazioni dirette da elaborare tramite il metodo progettuale. Dalla creazione di modelli di studio fino allo sviluppo di un impianto elettrico sicuro per operatori e animali. La costruzione di un prototipo funzionante ha permesso di verificare sul campo quanto appreso nel percorso di studi e di individuare le criticità da correggere per future evoluzioni di un prodotto così complesso.

Il risultato è un dispositivo più accessibile rispetto ai competitor commerciali, grazie soprattutto alla modularità: ogni elemento di connessione dell'intero sistema è stampato in 3D con elementi modulari ed utilizza ferramenta standardizzata, così da potersi adattare alle diverse misure richieste dalle strutture. La leggerezza e il prezzo sono nettamente inferiori rispetto al mercato, grazie a un'attenta pianificazione fin dalle prime fasi di lavoro.

Questo elaborato dimostra come il design possa concretamente tradursi in un supporto pratico per salvare delle vite animali, offrendo un aiuto prezioso non solo agli operatori, ma all'intero ecosistema e all'ambiente. Attualmente non esistono sul mercato dispositivi in grado di semplificare il lavoro e la produzione. È corretto specificare che, a questo stadio di sviluppo, sarà comunque necessario far certificare la sicurezza dell'intero impianto da enti specializzati prima di poterlo integrare stabilmente in un flusso di lavoro operativo reale e utilizzarlo all'interno di cliniche.

Indice

00 Introduzione 19

0.1 - Obiettivi del lavoro di tesi

0.1.1 - Sostenibilità, economia circolare e gestione del ciclo di vita

0.1.2 - Specializzazione d'uso: versatilità clinica e target specifico

0.2 - Metodologia di progetto

0.2.1 - Analisi conoscitiva e indagini sul campo

0.2.2 - Sintesi metaprogettuale e formalizzazione dei requisiti

0.2.3 - Sviluppo concettuale, ingegnerizzazione ed elettronica

0.2.4 - Prototipazione e collaudo tecnico

0.2.5 - Valutazione finale

0.3 - Articolazione e struttura dell'elaborato

0.3.1 - Fase analitico conoscitiva (capitoli 1-2)

0.3.2 - Fase Metaprogettuale e Definizione dei Requisiti (Capitoli 3–5)

0.3.3 - Fase Tecnologica e Sviluppo di Progetto (Capitoli 6–9)

0.3.4 - Fase di Verifica e Valutazione Finale

01 I C.R.A.S. 25

1.1 - Cosa sono

1.2 - C.R.A.S. ODV di Bernezzo (CN)

1.3 - Gestione delle emergenze

1.4 - Contesto operativo del Centro di Recupero: tendenza dei ricoveri, target di specie e obiettivi di progetto

1.4.2 Target tassonomico del Centro

1.4.3 Target della tesi

02 Ricerca sul campo 31

2.1 - inquadramento e cronologia della ricerca

2.2 - Metodologia d'indagine

2.2.1 - Modalità di somministrazione

2.3 - Analisi dei nodi critici e divergenze emerse

2.3.1 - Portata strutturale, tolleranze e classi di carico

2.3.2 - Microclima e movimentazione d'aria

2.3.3 - Architettura spaziale, modularità e prototipazione

2.3.4 - Posatoi a diametro variabile, teli e prevenzione del danno al piumaggio

2.4 - Requisiti negativi e scelte controintuitive

2.4.1 - Contrastare l'iperstimolazione visiva

2.4.2 - Eliminazione di fondi a maglia metallica

2.4.4 - Limiti di prototipazione e perimetro di laboratorio (proof of Concept 30x30cm)

2.5 - Sintesi dei risultati ottenuti

2.6 - Ricerca di mercato

03 Brief 37

3.1 – Brief Progettuale

3.2 - Fondamenti di progetto

3.3 - Perimetro operativo

3.3 - Specifiche tecniche e controllo ambientale

3.3.1 - isolamento termico e architettura strutturale

3.3.2 - Ergonomia, accessibilità e biosicurezza

3.3.3 - Elettronica di controllo e alimentazione

04 Scenario di progetto 41

4.1 - Target

4.1.1 - Gli Operatori (utenti attivi)

4.1.2 - Gli animali (utenti passivi)

4.2 - Contesto

4.3 - Concept

4.4 - Principi del buon design

4.4.1 - Dieter Rams e i 10 principi

4.4.2 - Svolta politecnica

4.4.3 - Applicazione dei 12 principi

4.4.4 - Conflitti tra i principi

4.4.5 - Griglia di valutazione e Verifiche del progetto

05 Sistema esigenziale - prestazionale 49

5.1 - Tabella Esigenziale-Prestazionale

5.2 - Appunti metaprogettuali

06 Tecnologia FDM nel processo di Design 61

6.1 - Definizione della Tecnologia FDM

6.2 - Anisotropia meccanica e orientamento dei layer

6.3 - Warping, Ritiro termico e Definizione delle tolleranze dimensionali

6.4 - Rugosità superficiale

6.5 - Selezione del materiale

07 Sviluppo proposta 65

7.1 - Identità del prodotto

7.1.1. - Ambiente principale: area di degenza

7.1.2. - Analisi dei requisiti biologici e di sicurezza

7.1.3 - Schizzi preliminari

7.2 – Materiali

7.2.1 - Laminato in HDPE

7.2.2 - Polimetilmetacrilato PMMA

7.2.3 - PETG (Polietilene Tereftalato Glicole)

7.2.4 - Controparti riciclate e rPETG

7.3 - Elettronica

08 Modello fisico 87

8.1 Dal modello virtuale alla Prototipazione

8.2 Evoluzione del modello: Prove fisiche e Prototipo funzionale

8.2.1 Modelli

09 Fase esecutiva 95

9.1 - Progetto esecutivo

9.2 Modellazione 3D

9.3 - Ingegnerizzazione

9.4 - Prototipazione e Produzione

9.4.2 - Processo di realizzazione, Materiali e Componentistica

9.4.3 Struttura esterna contenimento termico

9.4.4 - Componenti realizzati con FDM

9.4.5 – Calcolo costo produzione FDM

9.5 Making of: Fasi di fabbricazione, Lavorazione Manuale e Assemblaggio

9.5.1 Costruzione della struttura

9.5.2 - Cablaggio e Integrazione Componenti attivi

9.5.3 - Cablaggio e Integrazione Componenti attivi

9.6 - Programma Arduino

9.7 - Interfaccia del prodotto

9.8 - Branding

9.9 - Collaudo

9.9.1 - Introduzione e vincoli prototipali

9.9.2 - Test termici

10 Conclusioni 147

10.1 - Verifica della qualità

10.1.1 - Qualità del progetto

10.1.2 - Benchmark

10.2 - Analisi LCA

10.2.1 - Cos'è l'LCA

10.2.2 - Obiettivo, Campo di applicazione e Confini di sistema

10.2.3 - Analisi Inventario e Metodo di Calcolo

10.2.4 - Fonti, Formule di Calcolo e Approssimazioni

10.2.5 - Analisi e risultati del Calcolo Manuale

10.2.6 - Redazione dati tramite software openLCA

10.2.7 - Analisi comparativa

10.2.8 - Conclusione del Capitolo e Rappresentazione Grafica dei Risultati

10.3 Conclusioni e sviluppi futuri

Appendici 156

Appendice A

Appendice B

Appendice C

Indice delle Figure 168

Bibliografia 170

00
Introduzione

In ambito di salvaguardia della fauna locale, i Centri di Recupero Animali Selvatici (C.R.A.S.) svolgono un ruolo di primaria importanza su tutto il territorio italiano. Tali strutture rappresentano il presidio fondamentale per il soccorso, la stabilizzazione clinica, la riabilitazione e il successivo reintegro in natura degli esemplari feriti o in difficoltà, garantendo il mantenimento della biodiversità e del benessere animale.

Considerata l'elevata frequenza e la natura imprevedibile delle emergenze faunistiche, risulta di fondamentale importanza che questi centri possano operare con elevati standard di efficienza, supportati da dotazioni e strumentazioni adeguate. Spesso questi centri operano con risorse limitate e devono riadattare la strumentazione di tipo commerciale o veterinaria alle specifiche esigenze delle diverse specie soccorse. La domanda sorta da questa situazione: è possibile supportare la dotazione strumentale a disposizione di queste associazioni attraverso l'utilizzo della tecnologia FDM?

La strumentazione a disposizione all'interno di questi centri ha costi molto elevati e necessita di macchinari commerciali dedicati. A questo si aggiunge la complessa reperibilità di parti di ricambio degli stessi in caso di guasti o semplicemente a seguito dell'usura di alcuni componenti. Bisogna anche affermare che spesso i pezzi di ricambio sono praticamente impossibili da reperire o con costi proibitivi che costringono magari le diverse associazioni alla rinuncia di alcune macchine o al momentaneo inutilizzo delle stesse. Laddove invece queste tecnologie fossero disponibili non è scontato che siano utilizzabili per specie specifiche di animali che hanno bisogno di spazi molto ristretti o con requisiti clinici molto particolari (es. Chirotteri).

AVVERTENZA PER IL PROTOTIPO DI RICERCA

Questo progetto è il risultato di una tesi di laurea. È un prototipo funzionale realizzato a fini di ricerca e didattica, NON un prodotto immesso sul mercato.

- L'assieme NON reca marcatura CE e non è accompagnato da dichiarazione di conformità.

- Chi riproducesse questo progetto per venderlo o per usarlo nell'esercizio di un'attività professionale ne assume tutti i relativi obblighi normativi.

- I componenti sono in larga parte moduli di prototipazione senza documentazione di conformità verificabile. Le prestazioni riportate valgono per gli esemplari misurati.

- Le parti in involucro sono stampate in 3D, in parte da materiale di riciclo, senza caratterizzazione meccanica né prove di comportamento al fuoco.

- Il firmware è fornito NELLO STATO IN CUI SI TROVA, senza garanzia di alcun tipo e senza alcuna certificazione di sicurezza funzionale. NON affidarsi al solo software per la protezione dalla sovratemperatura: il termostato bimetallico F2 e il Fusibile 5A in serie al carico sono le uniche protezioni indipendente dal firmware. Rimuoverlo o cortocircuitarlo annulla la catena di sicurezza.

- Le prove sono state condotte SENZA ANIMALI all'interno della camera. Il dispositivo non è un dispositivo medico-veterinario e non sostituisce la sorveglianza e il giudizio dell'operatore qualificato.

Chi riproduce, anche parzialmente, questo progetto agisce sotto la propria esclusiva responsabilità. Nei limiti consentiti dalla legge applicabile, gli autori non prestano alcuna garanzia e non rispondono di alcun danno a persone, animali o cose derivante dalla realizzazione, dalla modifica o dall'uso di quanto qui pubblicato. Restano ferme le responsabilità non escludibili per legge (art. 1229 c.c.; danni alla persona).

Hardware e documentazione: CERN-OHL-S v2

Firmware: EUPL-1.2

0.1 - Obiettivi del lavoro di tesi

L'obiettivo generale di questo studio di tesi è fortemente legato alla creazione di un supporto tecnico da utilizzare all'interno di associazioni ODV come il C.R.A.S. Ed in particolare questo studio si concentrerà sulla fase di degenza e primo soccorso degli animali salvati dal centro. L'oggetto in questione analizzato è la camera calda. Il calore, infatti, è la medicina più efficace per tutti gli animali che vengono salvati durante l'anno dal centro ed è il punto di partenza che precede le fasi di medicazione vera e propria attraverso farmaci e integrazioni di vario tipo. La camera calda risponde proprio a questa esigenza, ovvero quella di collocare gli animali salvati che devono essere scaldati ma che non possono ancora ricevere cure poiché si trovano in uno stato di ipotermia molto grave.

Questa tipologia di soluzione permetterebbe di colmare il divario strutturale basandosi sull'integrazione di due principali paradigmi tecnologici e metodologici:

· La fabbricazione additiva come processo produttivo in grado di abbassare i costi di produzione e svincolare i centri dalle logiche di fornitura industriale.

· L'approccio open-source e di conseguenza il garantire la completa trasparenza e fruibilità dei modelli 3D, degli schemi elettronici e delle componenti firmware affinché qualsiasi struttura veterinaria possa replicare o adattare il dispositivo in autonomia.

0.1.1 - Sostenibilità, economia circolare e gestione del ciclo di vita

Questo studio allinea gli aspetti di processo e progettuali del design. La stampa 3D, infatti, non è intesa unicamente come mera tecnica di prototipazione rapida, bensì come leva per una produzione locale etica e accessibile.

Possiamo quindi selezionare tre principali aspetti di sostenibilità che articolano l'intero studio:

· Selezionare polimeri riciclati performanti: per la definizione dei materiali si prevede e privilegia l'utilizzo di filamenti tecnici riciclati da post-consumo o scarto industriale (rPETG). Valutandone preventivamente la qualità superficiale e prestazioni meccaniche del materiale stesso.

· Design for Disassembly (DfD): L'architettura del prodotto deve essere interamente progettata per evitare l'utilizzo di adesivi irreversibili o unioni irreversibili, favorendo incastri meccanici, elementi di giunzione stampati (sistema a pin) e connessioni standardizzate. Questo facilita notevolmente la separazione dei materiali a fine vita e sia il lavaggio delle singole parti.

· Manutenibilità e riparabilità in loco: seguendo la filosofia del Right to repair, il sistema è progettato per far sì che qualsiasi componente soggetto ad usura o a malfunzionamenti possa essere riprodotto, stampato in 3D o eventualmente reperito con poco dispendio di energie di tempo ed economiche.

0.1.2 - Specializzazione d'uso: versatilità clinica e target specifico

Dal punto di vista funzionale e biologico il progetto si pone l'obiettivo di superare quella che è la rigidità dei dispositivi commerciali, offrendo una risposta versatile capace di adattarsi al target eterogeneo di specie che vengono gestite dai vari C.R.A.S.

L'intero sistema di progettazione si biforca in due vocazioni distinte ma comuni:

· Versatilità generale (piccoli mammiferi e avifauna): la configurazione di base dell'unità di degenza deve garantire le condizioni giuste affinché garantisca un controllo accurato della temperatura dell'umidità e dei flussi d'aria interni della camera calda, garantendo un ambiente idoneo per la degenza di piccoli mammiferi e piccoli volatili.

· Specializzazione d'uso per Chirotteri: Rispondendo ad una lacuna critica evidenziata dalla letteratura e dalle fonti cliniche di settore, il progetto include accorgimenti geometrici e materici specifici per il ricovero dei pipistrelli. In particolare, si menziona l'inserimento di appigli facilitati e geometrie idonee a prevenire evasioni accidentali favorite dall'agilità e dalle dimensioni ridotte di questi animali.

0.2 - Metodologia di progetto

Per il raggiungimento degli obiettivi prefissati, l'intera ricerca sfrutta un approccio metodologico rigoroso e strutturato facenti parte del Design di prodotto e dell'Analisi esigenziale - prestazionale.

Di seguito sono illustrate le diverse fasi che hanno costituito questo studio. Esso si è articolato in cinque macro-fasi consequenziali, concepite affinché ogni scelta potesse essere giustificata provata e analizzata nelle diverse fasi di progetto.

0.2.1 - Analisi conoscitiva e indagini sul campo

La prima fase ha avuto come obiettivo quello di delineare lo stato dell'arte e mappare le reali necessità operative del Centro di Recupero Animali Selvatici. L'indagine è stata quindi eseguita attraverso due strumenti principali:

· Ricerca sul campo e interviste strutturate: Sono stati effettuati sopralluoghi diretti presso la struttura del C.R.A.S. di Bernezzo. I sopralluoghi sono stati accompagnati da questionari d'indagine alle due figure principali del centro: l'operatore/gestore (per l'analisi dei flussi di pulizia, gestione quotidiana e manutenibilità) e il responsabile medico – veterinario (per la definizione delle esigenze cliniche, microclimatiche e bioselettive).

· Benchmark di mercato: è stata condotta una ricerca comparativa per l'analisi delle camere calde/incubatrici veterinarie presenti attualmente sul mercato, valutandone i costi, limiti d'uso, modularità e riparabilità e per poter tentare di ricoprire il gap progettuale presente.

0.2.2 - Sintesi metaprogettuale e formalizzazione dei requisiti

I dati qualitativi e quantitativi sono stati raccolti nella fase di analisi, redatti e formalizzati tramite il sistema esigenziale-prestazionale. Questa metodologia ha permesso di tradurre le richieste delle utenze e renderle misurabili attraverso:

Utenza (U) -----> Esigenza (E) -----> Requisito (R) -----> Prestazione (P)

Ciascun requisito è stato codificato con una sigla identificativa (es R1, R2...) e associata ad una prestazione quantificabile ponendo le basi per la successiva fase di verifica.

0.2.3 - Sviluppo concettuale, ingegnerizzazione ed elettronica

Nella fase di modellazione e sintesi della forma i requisiti sono stati tramutati in soluzioni geometriche e costruttive. Ciò ha compreso:

· Esplorazione formale: definizione dell'architettura di base del progetto attraverso lo studio di forme e soluzioni poi scartate.

· Design for additive manufacturing: modellazione CAD 3D delle componenti da stampare minimizzando la quantità di supporti necessari, anisotropia dei layer e corretta gestione delle tolleranze.

· Realizzazione dei modelli per verificare la funzionalità dei componenti, con consecutiva rielaborazione del modello 3D.

· Progettazione hardware ed elettronica: Integrazione di tutta la parte di sensoristica e componenti elettronici atti al corretto funzionamento e monitoraggio della camera calda.

0.2.4 - Prototipazione e collaudo tecnico

Per valutare la fattibilità e il funzionamento delle soluzioni adottate, il progetto è passato alla fase di creazione di un prototipo in scala 1:1.

È opportuno precisare che il prototipo realizzato configura un dimostratore funzionale tecnologico (proof of concept): a causa di fisiologici vincoli di budget e di reperibilità delle risorse, alcune

componenti e materiali ideali, definiti nella fase di sintesi teorica, sono stati temporaneamente sostituiti da soluzioni equivalenti o da filamenti standard di laboratorio. Il prototipo, quindi, rappresenta un'approssimazione funzionale volta a validare l'architettura generale, conscio di margini di affinamento da affrontare in una successiva fase di industrializzazione.

Con queste premesse il collaudo si è articolato in due fasi:

· Prototipazione fisica dei componenti: Stampa 3D dei componenti utili alla realizzazione del prodotto, taglio e foratura dei materiali e assemblaggio.

· Verifiche di banco: test funzionali per comprendere e sistemare eventuali errori presenti durante la fase di assemblaggio dell'impianto elettrico e stabilizzazione dei parametri preliminari.

0.2.5 - Valutazione finale

L'ultima fase ha chiuso il cerchio metodologico verificando i risultati con gli obiettivi iniziali. La valutazione si è basata su:

· Matrice di verifica Requisiti-Prestazioni: redazione di una tabella comparativa che verifichi il raggiungimento dei requisiti individuati nelle fasi precedenti.

· Test d'uso e validazione con il personale: incontro sul campo presso il C.R.A.S. per sottoporre il prototipo al giudizio degli operatori per capire cosa poter migliorare e aggiungere o rimuovere dalla struttura.

· Analisi dei limiti e sviluppi futuri: individuazione dei punti critici emersi a seguito della prova sul campo non pienamente verificati e proposta di linee guida per sviluppi futuri della camera calda.

0.3 - Articolazione e struttura dell'elaborato

Per garantire una corretta comprensione del processo di studio, ricerca e progettazione l'elaborato è suddiviso in 10 capitoli che possono essere organizzati in quattro macroaree tematiche.

0.3.1 - Fase analitico conoscitiva (capitoli 1-2)

La prima parte del documento contestualizza l'ambito di intervento e mappa le criticità reali del settore:

· Capitolo 1 - I C.R.A.S. e il contesto di riferimento: Inquadra il ruolo dei Centri di Recupero Animali Selvatici, analizzando il quadro normativo, l'operatività del centro partner (C.R.A.S. di Bernezzo) e i dati clinici sui ricoveri (suddivisione per specie, taglia e stagionalità).

· Capitolo 2 - Ricerca sul campo ed evidenze metodologiche: Documenta le indagini condotte presso la struttura, sintetizzando le interviste all'operatore e al medico veterinario. Vengono evidenziate e risolte le divergenze gestionali e cliniche emerse dal confronto diretto. Ricerca di mercato: Presenta un'analisi di mercato per comprendere lo stato dell'arte delle camere calde da banco attualmente in commercio.

0.3.2 - Fase Metaprogettuale e Definizione dei Requisiti (Capitoli 3–5)

La seconda parte traduce i dati emersi sul campo in linee guida formali e parametri valutabili:

· Capitolo 3 - Il Brief di progetto: Traduce i risultati della fase analitica nelle direttrici fondamentali dell'intervento, definendo il perimetro operativo e i target animali considerati.

· Capitolo 4 - Scenario di progetto e principi guida: Delinea il contesto d'uso, definisce il concept ed esplicita i dodici principi di design che orientano lo sviluppo, evidenziando la gestione dei conflitti tra requisiti contrapposti.

· Capitolo 5 - Sistema Esigenziale-Prestazionale: Formalizza la catena logica U-->E-->R-->P. Ogni requisito viene codificato ed espresso in prestazioni quantificabili, complete di metriche di riferimento e fonti di estrazione.

0.3.3 - Fase Tecnologica e Sviluppo di Progetto (Capitoli 6–9)

La terza parte documenta l'ingegnerizzazione dell'unità di degenza e il passaggio dal modello digitale alla prototipazione fisica:

· Capitolo 6 - Tecnologia FDM nel processo del Design: Analizza la fabbricazione additiva in termini teorici generali, focalizzandosi sui vincoli e le opportunità costruttive (anisotropia dei layer, tolleranze, finitura superficiale e lavabilità) che determinano le scelte geometriche.

· Capitolo 7 - Sviluppo della proposta progettuale: Descrive l'architettura formale del modulo esagonale, l'integrazione del sistema elettronico di controllo del microclima, la selezione dei polimeri riciclati e identità del prodotto.

· Capitolo 8 - Modello Fisico: Documenta il processo di fabbricazione e analisi dei modelli realizzati, utili alla percezione della geometria reale e al miglioramento del progetto.

· Capitolo 9 - Fase Esecutiva: Raccoglie la la fase di prototipazione, presentando la documentazione tecnica di dettaglio (tavole 2D, tolleranze degli incastri a perno, schemi elettronici e configurazione firmware), definendo infine il protocollo formale di collaudo e l'analisi dei costi.

0.3.4 - Fase di Verifica e Valutazione Finale

La sezione conclusiva chiude il cerchio metodologico:

- Capitolo 10 - Conclusioni: Valuta il progetto tramite una matrice di confronto tra requisiti e prestazioni effettivamente riscontrate sul prototipo. Raccoglie i riscontri qualitativi degli operatori sul campo, analizza criticamente l'impatto ambientale e delinea chiaramente i limiti dell'opera e le direttrici per i futuri sviluppi.

01
I C.R.A.S.

1.1 - Cosa sono

I C.R.A.S. nascono in Italia in attuazione della normativa per la tutela delle specie selvatiche. In particolare, la legge L. 157/1992 è la norma di rinvio (art. 4 c. 6 delega alle Regioni), la disciplina operativa dei C.R.A.S. piemontesi sta nella L.R. 5/2018 e fissa i seguenti obiettivi istituzionali *(Tutela della fauna e gestione faunistico-venatoria, 2018)*:

· Attuare un piano programmato di salvaguardia e di recupero naturalistico della Regione.

· Coinvolgere e corresponsabilizzare il maggior numero di cittadini

· Disciplinare l'attività venatoria nel rispetto della conservazione e della gestione della fauna selvatica.

· Garantire la salvaguardia delle colture agricole e della biodiversità coordinando e disciplinando a tal fine l'attività venatoria e favorendo la realizzazione di progetti di sviluppo, in particolare in aree collinari e montane.

· Eliminare o ridurre i fattori di disequilibrio o di degrado ambientale e coinvolgere e responsabilizzare a tale fine il maggior numero possibile di cittadini.

· Finalizzare l'impegno dei cacciatori nonché le risorse economiche agli scopi della presente legge.

· Dotare il territorio regionale di strutture atte alla protezione ed al potenziamento qualitativo e quantitativo delle specie faunistiche autoctone.

· Promuovere l'impegno delle componenti agricole, di protezione ambientale e venatorie agli scopi della presente legge anche attraverso lo stanziamento di risorse economiche e l'istituzione di supporti tecnico-scientifici atti a censire e monitorare quantitativamente e qualitativamente il patrimonio faunistico.

· Salvaguardare gli interessi e le attività della popolazione che possono essere compromessi dall'esercizio venatorio.

Il quadro normativo trova un punto cardine nell'articolo 4, comma 6, il quale sancisce espressamente l'obbligo di creare strutture atte alla cura e al reinserimento in natura degli animali in difficoltà:

"Le regioni emanano norme in ordine al soccorso, alla detenzione temporanea e alla successiva liberazione di fauna selvatica in difficoltà." *(Norme per la protezione della fauna selvatica omeoterma e per il prelievo venatorio, 1992)*

Si consolidano così sul territorio italiano i C.R.A.S. ovvero Centro Recupero Animali Selvatici.

Si tratta di centri senza scopo di lucro con l'obbligo di salvare curare e se possibile riabilitare gli animali per la loro futura reintegrazione in natura. Il cittadino che rinvenga l'animale ha l'obbligo morale e civile di affidare ad un C.R.A.S. l'animale ferito, presente nel territorio del ritrovamento. Ogni struttura presenta differenze per quanto concerne il tipo di animale che è in grado di accettare e curare sia per le risorse di cui dispone. Le cure non ricadono sul cittadino ma sono a carico del C.R.A.S. di riferimento finanziato grazie a convenzioni tra regioni, province, comuni, parchi e

donazioni.

In caso di emergenza è possibile contattare il centro operativo locale, per tale scopo esistono piattaforme web, come elencocras.it, che permettono di reperire agevolmente i contatti e l'ubicazione dei principali presidi attivi su base regionale e provinciale. *(Elenco C.R.A.S. Italia, 2026)*

1.2 - C.R.A.S. ODV di Bernezzo (CN)

Ai fini della ricerca e dello sviluppo del progetto di tesi, si è ritenuto fondamentale stabilire un contatto con un'associazione operante a livello locale, con l'obiettivo di collaborare e avviare applicazione pratica sul campo. Il Piemonte rappresenta, in quest'ottica, una delle regioni italiane con la maggior densità di C.R.A.S. sul territorio. Nello specifico nel territorio sono presenti i seguenti centri per il recupero:

➢ Provincia di Torino: C.A.N.C. (Centro Animali Non Convenzionali) a Grugliasco.

➢ Provincia di Asti: C.R.A.S. LIPU di Tigliole, specializzato nel recupero di rapaci e altri animali selvatici.

➢ Provincia di Cuneo: C.R.A.S. di Bernezzo, struttura di riferimento per il recupero della fauna alpina e selvatica locale.

➢ Provincia di Cuneo: C.R.A.S. Racconigi, situato presso il Centro Cicogne e Anatidi di Racconigi.

➢ Province di Novara e Vercelli: Rifugio Miletta, attivo in entrambe le province per il recupero di animali selvatici in difficoltà.

Sulla base dell'analisi dei centri disponibili, la scelta è ricaduta sul C.R.A.S. di Bernezzo (CN) che si è dimostrato immediatamente propenso a supportare il progetto e ad affiancare il percorso di tesi. Questa collaborazione ha permesso di far convergere le nozioni accademiche e le conoscenze tecnico-pratiche del centro, valorizzando i risultati della ricerca attraverso un approccio pratico sul campo. A Bernezzo, come negli altri centri, si occupano di recuperare gli animali in difficoltà, prestando le cure necessarie affinché siano riabilitati e reintrodotti in natura. Qualora questo non fosse possibile si procede con il mantenimento in una delle strutture disponibili. Il centro si occupa anche della stabulazione permanente di animali che non possono essere più detenuti per diversi motivi come, ad esempio, testuggini americane e scimmie. Le attività che vengono svolte al centro sono molto importanti e di diverso genere di seguito ne consideriamo alcune:

· Educazione ambientale: durante gli eventi di liberazione vengono spiegati i comportamenti da tenere con la fauna selvatica e l'importanza della conservazione non solo dell'animale, ma soprattutto del suo ambiente.

· Iniziative didattiche, convegni, incontri con la cittadinanza: per informare e trattare argomenti di salvaguardia animale e ambientale.

· Monitoraggio fauna: il gran numero di animali che entrano in contatto con il C.R.A.S. permette di controllare quali specie, e in che numero, vivano in Provincia di Cuneo, e segnalare tempestivamente eventuali epidemie in atto, collaborando con il Corpo Forestale dello Stato e i Servizi Veterinari dell'ASL.

· Il nucleo CITES dei Carabinieri utilizza a volte il centro come ricovero per animali sequestrati in seguito alla violazione della Convenzione di Washington.

Il C.R.A.S. di Bernezzo nasce per iniziativa di Remigio Luciano, che decise di collocare alcuni degli animali precedentemente appartenuti al piccolo zoo di Cuneo ormai dismesso dal 1984, destinati ad essere accuditi fino al naturale decesso. Fino al 1996 il centro dava l'opportunità ai visitatori di vedere questi animali fino a quando con la legge dello stesso anno (L.R. 70/1996) venne istituito un C.R.A.S. proprio in quel luogo. Dal 2001 nasce una collaborazione con la Sezione di Cuneo di L.I.D.A. (Lega Italiana dei Diritti dell'Animale). La collaborazione con associazioni già consolidate sul territorio permette al centro di organizzarsi al meglio con le attività di recupero e con la costruzione di nuove strutture per il mantenimento degli animali. Nel 2004 viene fondata l'Associazione ODV con il nome di "Centro Recupero Animali Selvatici ONLUS". Attualmente, la struttura del C.R.A.S. si articola in due sale di prima degenza e in diverse aree di riabilitazione, specificamente progettate per la delicata fase di rieducazione degli animali, durante la quale il contatto con l'essere umano deve essere ridotto al minimo per garantire il successo. Sotto il profilo del personale, il Centro si avvale di un organico eterogeneo che comprende due dipendenti, gli operatori del Servizio Civile Universale, volontari e lavoratori di pubblica utilità. La supervisione medica è affidata a tre veterinari volontari, tra cui figura il Direttore Sanitario, a cui si affiancano periodicamente diversi tirocinanti in regime di rotazione. La gestione del C.R.A.S. fa capo all'Associazione ONLUS ed è sostenuta dai contributi economici dei Comuni, della Provincia di Cuneo e di altri Enti convenzionati. Tuttavia, la continuità delle spese gestionali è garantita prevalentemente da fonti di autofinanziamento e sussidiarietà, quali il tesseramento annuale, le adozioni a distanza, le donazioni di privati cittadini e i proventi derivanti dalla vendita di materiale promozionale (libri, calendari e manufatti).

Il C.R.A.S. di Cuneo fa parte della Rete dei Centri della Regione Piemonte. Ciò vuol dire che sono autorizzati dalla provincia di Cuneo al recupero della fauna selvatica sul territorio provinciale secondo provvedimento n. 395 del 18/05/2001. La reperibilità del centro è garantita 24 ore su 24 e 365 giorni all'anno. Esso è autorizzato anche alla detenzione di animali ritenuti pericolosi con il provvedimento del Ministero dell'Ambiente n. SNC/99/2D2772, confermato con il protocollo 0021184/PNM del 29/10/2015. L'affluenza media degli animali che sono passati per il centro, durante i primi anni di apertura, si aggira intorno ai 150-200 animali all'anno. Ad oggi la media è di circa 1000 animali all'anno. (Provincia di Cuneo; Redazione Ideawebtv.it, 2024)

Le attività di soccorso rispecchiano la complessità ecologica e geografica del territorio cuneese attraversato da pianure antropizzate, aree collinari ed ecosistemi montani. All'interno del centro vengono accolti una vasta gamma di specie autoctone, tra queste piccoli mammiferi come il riccio europeo (percentuale significativa dei ricoveri annui), lo scoiattolo rosso la volpe, il tasso e diversi mustelidi come faine e donnole. Di importante rilievo scientifico e conservazionistico sono gli interventi sugli ungulati e sui grandi mammiferi tipici dell'arco alpino come: caprioli, cervi, camosci e stambecchi, spesso vittime di traumi stradali o di errati prelievi da parte dell'uomo. Anche l'avifauna costituisce una quota preponderante degli ingressi in struttura. Il C.R.A.S. interviene su uccelli migratori e insettivori, come rondoni e rondini ma anche su grandi rapaci diurni e notturni di alto valore ecologico, tra cui l'aquila reale, il falco, il gufo reale e il barbagianni. Non meno importante è il recupero dell'erpetofauna locale, con un'attenzione alla salvaguardia di anfibi e rettili a rischio, come la tartaruga europea.

Tra questa moltitudine di animali ve ne sono alcuni esotici, sequestrati che necessitano di cure particolari come le scimmie Bertucce, i Procioni (Procyon lotor), le Nutrie (Myocastor coypus), gli Scoiattoli grigi (Sciurus carolinensis) e i Parrocchetti monaci (Myiopsitta bonaparte) e le testuggini palustri americane (Trachemys scripta)*(Redazione Ideawebtv.it, 2024)*.

1.3 - Gestione delle emergenze

Ogni chiamata che viene effettuata al centro segue uno stretto protocollo che parte dal salvataggio e arriva fino al rilascio dell'animale una volta guarito.

La prima fase che segue il salvataggio riguarda l'accettazione. In questa fase avviene il riconoscimento dell'animale e la raccolta dei dati del cittadino/a che l'ha salvato. Questo è importante per capire il contesto in cui viene salvato l'animale e l'eventuale racconto di ciò che è capitato da parte del soccorritore, ove possibile.

Segue poi la visita veterinaria vera e propria. La prima constatazione da fare è capire se l'animale versa in condizioni critiche oppure no. In caso di condizioni critiche viene avviato un protocollo che ha l'obiettivo di salvare il prima possibile l'animale, utilizzando dell'ossigeno, fluidi e termoregolazione. Se le condizioni dell'animale invece sono stabili si procede con una visita completa per effettuare una diagnosi accurata dei suoi problemi e poi impostazione delle terapie e iter da seguire. L'animale in questa fase deve poter essere inserito all'interno di un ambiente chiuso e controllato accessibile unicamente dal personale veterinario e dai volontari che se ne prenderanno cura e provvederanno a fornirgli le cure giornaliere necessarie.

Quando le condizioni dell'animale migliorano è compito del personale spostare il degente in spazi via via sempre più ampi fino alla totale libertà in natura in caso di riottenimento completo delle facoltà motorie e psichiche. Il reinserimento in natura degli animali deve essere approvato a livello provinciale attraverso autorizzazione, ma ad oggi non esistono normative ministeriali che regolino in maniera specifica questa pratica. Esistono però dei consigli da tenere in considerazione durante il reinserimento in natura relative all'ambiente e all'animale stesso.

Per quanto riguarda l'animale selvatico:

· Autonomia motoria e nutrizionale: l'animale deve essere in grado di volare, cacciare e difendersi senza l'aiuto dell'uomo.

· Assuefazione umana, l'animale non deve aver sviluppato "imprinting" verso l'uomo, non saprebbe altrimenti sopravvivere in natura.

· Stato di salute, i test clinici devono confermare l'assenza di malattie trasmissibili e la completa guarigione di ogni tipologia di ferita.

· Il rilascio invece non avviene in un punto qualsiasi ma segue specifici protocolli e dipende da numerosi fattori che possono variare a livello regionale:

· Stagione corretta, la scelta della riammissione in natura è cruciale. Ad esempio, le specie migratrici necessitano di una finestra di rilascio che coincida con la presenza della specie stessa sul territorio nazionale. Le specie stanziali invece, prediligono i periodi di massima disponibilità trofica (primavera estate), evitando la stagione riproduttiva per evitare di compromettere la cura della prole o innescare dinamiche di aggressività o territorialità tra le specie.

· Idoneità ecologica e scelta del sito, il principio cardine del rilascio prevede che avvenga nello stesso biotopo, o preferibilmente nello stesso luogo, in cui è avvenuto il ritrovamento *(Miller, 2012)*. Questo permette di rispettare l'ecosistema in cui viene reintegrato l'animale senza il rischio di introdurre specie estranee che comprometterebbero l'intero habitat.

· Fattori meteo-climatici, la pianificazione della liberazione richiede anche una certa attenzione verso le condizioni meteorologiche delle successive 48/72 ore che seguono il rilascio, fondamentali per l'adattamento del soggetto. La mancanza di attenzione inficerebbe sulla salute dell'animale compromettendone la termoregolazione*(Les Stocker MBE HonAssocRCVS, 2005)*.

· Stato fisiologico ed etologico del soggetto: Prima dell'autorizzazione della dimissione clinica, il personale veterinario e gli operatori del centro di recupero hanno l'obbligo di valutare rigorosamente il soddisfacimento di precisi standard eco fisiologici. L'animale selvatico deve aver recuperato completamente il tono muscolare, l'impermeabilità del piumaggio degli uccelli acquatici o della coordinazione motoria. A questo si unisce anche l'osservazione di comportamenti etologicamente corretti, quali la naturale diffidenza verso l'essere umano e ancora la capacità di predazione o ricerca autonoma del cibo *(Miller, 2012)*.

· Metodologia di rilascio, ciascun animale necessita di un trat-

tamento specifico in base all'età, specie e condizioni al momento del ritrovamento. Di conseguenza si hanno periodi più o meno brevi di degenza che portano fino al rilascio graduale degli animali a seguito dell'esposizione di essi, ad ambienti progressivamente più ampi e liberi dal contatto umano*(Les Stocker MBE HonAssocRCVS, 2005).*

1.4 - Contesto operativo del Centro di Recupero: tendenza dei ricoveri, target di specie e obiettivi di progetto

Negli ultimi anni il C.R.A.S. di Bernezzo ha dovuto far fronte ad un aumento esponenziale degli ingressi di animali in difficoltà. I dati del centro evidenziano una crescita straordinaria della fauna passando da circa 80 individui nel 2022 a una proiezione di circa 2000 ricoveri nel 2026. L'analisi recente effettuata dal C.R.A.S. mostra incrementi costanti e significativi, con un aumento di 450 unità nel 2025 rispetto all'anno precedente e un ulteriore incremento di 150 ingressi stimato per l'anno in corso.

Questo incremento di numeri è strettamente riconducibile a una sinergia di fattori ecologici, climatici e antropici:

· Mutamenti climatici e riscaldamento globale: l'innalzamento medio delle temperature ha alterato i cicli biologici e riproduttivi di numerose specie. Si osserva, ad esempio un prolungamento della stagione riproduttiva con nidiate tardive o destagionalizzate (colombo comune, Columba livia, e colombaccio, Columba plaumbus, che nidificano anche durante l'inverno), costringendo il centro ad un'operatività continua durante l'anno.

· Inurbamento e antropizzazione del territorio: Il fenomeno della antropizzazione spinge sempre più animali selvatici a colonizzare gli ecosistemi urbani in cerca di un modo per nutrirsi con facilità e trovare siti per la nidificazione. Questo aumenta le probabilità di impatti traumatici con infrastrutture urbane, predazione da parte di animali domestici e avvelenamenti accidentali.

· Sensibilità sociale e prelievi impropri: Se da un lato la notorietà di questi centri e la sensibilità dei cittadini porta gli stessi a soccorrere tempestivamente i soggetti realmente feriti, dall'altro si assiste ad una frequente "raccolta impropria". Spesso infatti accade che i cittadini prelevino erroneamente giovani pulli o piccoli mammiferi sani e non ancora autosufficienti (sempre monitorati a distanza dai genitori), interrompendo la fase dello svezzamento di questi ultimi. Tra queste specie vi è l'esempio del riccio europeo (Erinaceus europaeus), che ha rappresentato la specie più ricoverata nell'ultimo anno con oltre 135 ingressi a causa di una scorretta divulgazione scientifica che porta i cittadini a prelevare determinati individui rispetto ad altri.

Al fine di alleviare questa problematica, il centro ha istituito uno sportello ambientale: Questa iniziativa è volta a educare la popolazione sulla corretta gestione degli avvistamenti, fornendo le informazioni necessarie che educhino il cittadino al giusto comportamento da attuare in quelle occasioni.

1.4.1 - Target tassonomico del Centro

Nonostante l'obbligo di legge nazionale (Legge 157/1992) vincoli i centri soltanto al recupero della fauna omeoterma (mammiferi e uccelli), il C.R.A.S. di Bernezzo soccorre e riabilita anche alcune specie di animali a sangue freddo, accogliendo in struttura rettili (ofidi e sauri) e anfibi (rospi ecc).

Guardando l'intero insieme degli animali salvati, la classe degli uccelli rappresenta quantitativamente la percentuale maggiore dei ricoveri insieme a micro e meso mammiferi.

1.4.2 - Target della tesi

Ci è stato specificatamente richiesto durante la prima visita in loco della sede di andare a sviluppare una camera calda utile alla clinica e alla degenza degli animali in terapia. Infatti, ci è stato detto che il controllo termico sia una parte fondamentale della terapia degli animali selvatici in difficoltà. Il calore agisce come medicina nei soggetti in ipotermia, shock traumatico o grave debilitazione (Gage & Duerr, 2022).

Il presente progetto di tesi si inserisce in questo contesto con l'obiettivo di progettare una camera calda modulare:

· Tecnologia open-source: L'intero apparato dovrà essere disponibile come oggetto a basso costo e facilmente riproducibile da altre associazioni.

· Modularità e adattabile: Il sistema avrà moduli espandibili per soddisfare le stringenti esigenze dei chirotteri degli avf e dei piccoli mammiferi.

· Specializzazione nella conservazione dei Chirotteri: lo sviluppo di questo prototipo si allinea strettamente con la vision del C.R.A.S., che mira a costituirsi come polo di riferimento scientifico e conservazionistico per i chirotteri a livello regionale.

L'analisi del contesto operativo del C.R.A.S. evidenzia necessità tecnologica non indifferente: a fronte di un carico di ricoveri in costante aumento, i tradizionali sistemi di degenza si rivelano spesso rigidi, costosi e difficilmente adattabili alle diverse esigenze degli animali. La progettazione di un dispositivo di supporto termico, che coniughi la precisione dei parametri microclimatici con la versatilità della manifattura additiva, rappresenta quindi la risposta diretta a questo vuoto tecnologico e gestionale.

02
Ricerca sul campo

2.1 - inquadramento e cronologia della ricerca

Data	Luogo	Interlocutore	Strumento adottato	Output prodotto
04/06/2026	C.R.A.S. ODV di Bernezzo, Cuneo	Responsabili della struttura e personale veterinario	Osservazione diretta dei flussi di lavoro e questionario d'indagine	Osservazione sul campo degli ambienti di lavoro e presentazione, da parte del personale della struttura, delle principali criticità legate alle attività di salvataggio degli animali.
15/06/2026	Videochiamata	Responsabili della struttura e personale veterinario	Intervista semi-strutturata	Intervista con il personale tecnico e il medico veterinario per la raccolta dei dati essenziali, finalizzata a una corretta definizione dei requisiti di progetto e alla successiva fase di progettazione.
13/07/2026	Videochiamata	Responsabile 1	Revisione tecnica della progettazione	Abbiamo ricevuto da parte del responsabile feedback utili alla progettazione, alla corretta rilevazione delle misure, nonché l'approvazione e la conferma delle caratteristiche del progetto.
20/07/2026	Videochiamata	Responsabile 2	Questionario d'indagine misto	Acquisizione dei feedback necessari sia all'individuazione dei possibili sviluppi futuri del progetto, sia al perfezionamento e alla definitiva chiusura della fase di progettazione.
08/08/2026 - 12/08/2026	Soggiorno sul campo	Personale tecnico al completo	Prototipazione e test della camera/calda	Creazione del prototipo funzionale sul campo, primi testi software e hardware del sistema intero, dimostrazione del funzionamento al personale feedback, analisi e miglioramenti necessari

2.2 - Metodologia d'indagine

Questo lavoro di ricerca si è basato su un approccio multidisciplinare e soprattutto vincolato dalle informazioni fornite da diverse ed eterogenee figure professionali. É importante dire che avere più punti di vista e informazioni tecniche permette poi di arrivare ad un output che sia il più preciso possibile in toto.

Le due figure principali che hanno costituito le colonne portanti di questo studio sono state:

· Responsabile della struttura: questa figura è focalizzata sull'efficienza dei processi di salvataggio e della gestione quotidiana degli spazi. All'interno dell'associazione è colui che si interfaccia con gli altri centri e fa fronte alla corretta gestione dei fondi e dell'attrezzatura necessaria. Si occupa di verificare che la camera calda in questione abbia un peso complessivo basso, trasportabilità, manutenibilità e resistenza all'usura meccanica.

· Medico veterinario: il focus di questa figura professionale è la corretta gestione dei bisogni fisiologici della fauna e della loro biosicurezza. Deve essere garantito un corretto controllo climatico all'interno dell'oggetto e tenere sotto controllo i livelli di stress acustico e visivo.

2.2.1 - Modalità di somministrazione

Per la somministrazione delle interviste strutturate e dei questionari si è deciso di procedere separatamente in modo tale che le diverse figure professionali non si influenzassero tra loro. A seguito della somministrazione, le trascrizioni delle risposte fornite sono state analizzate. Questa analisi incrociata ha permesso di individuare due categorie di informazioni utili alla progettazione:

· Punti di convergenza: riguardano informazioni e requisiti condivisi da entrambe le categorie di interlocutore

· Punti di divergenza

Nel paragrafo successivo verranno esplicati bene i punti emersi dalle interviste e dai questionari svolti.

2.3 - Analisi dei nodi critici e divergenze emerse

Da questa analisi è possibile vedere come i requisiti ingegneristici e di progettazione legati alla gestione degli spazi possano andare in conflitto con e in tensione con i vincoli etologici e sanitari espressi dalla prassi clinica. L'elaborazione delle indagini ha portato a far emergere quattro nodi critici fondamentali, che hanno guidato le successive scelte di configurazione e selezione dei materiali del prodotto.

Nodo critico	Esigenza gestionale	Esigenza clinico-veterinaria
1. Portata e Carico	Modularità e leggerezza	Fauna eterogenea (150 g - 3 kg)
2. Movimentazione aria	Omogeneità termica veloce	Evitare disidratazione e infezioni
3. Dimensionamento	Standard unico e compatto	Volumi calibrati per specie (30*-50*)
4. Accessori e Posatoi	Sostituzione e lavaggio	Diametri specifici (10-30 mm)

2.3.1 - Portata strutturale, tolleranze e classi di carico

Divergenza emersa

Sul piano della gestione logistica, l'operatore richiede un'architettura leggera e maneggevole che sia di conseguenza facilmente trasportabile e in caso di emergenza facilmente riconfigurabile in base al luogo in cui ci si trova in quel momento. Ciò che però si trova in conflitto con queste affermazioni è la casistica clinica che caratterizza il C.R.A.S. ad oggi (da 80 ingressi nel 2022 a circa 2000 nel 2026) che presenta un'elevata varietà biometrica. Si parla infatti di ospiti che spaziano da specie di piccole dimensioni come i chirotteri o i nidacei passeriformi (masse inferiori a 20-50 g e carichi sospesi che non superano i 150 g per punto di aggancio), fino a piccoli mammiferi e rapaci che possono arrivare a pesare 3 kg che possono esercitare sollecitazioni meccaniche da morso o rosicchiamento. (es. ghiri e scoiattoli).

Analisi del problema

Dimensionare l'intera scocca che possa supportare fino a un carico massimo di 3kg potrebbe portare ad un sovradimensionamento dell'intera scocca, dei prezzi e degli spessori che penalizzerebbe le routine gestionali. Al contempo un sistema troppo leggero rischierebbe di produrre l'effetto opposto e quindi non dare alcuna certezza di stabilità agli operatori del centro, e soprattutto rischierebbe il cedimento strutturale o il danneggiamento da parte dei roditori. In fase di intervista, l'operatore di campo ha chiarito la dinamica di attacco delle strutture: «i roditori (ghiri, scoiattoli) distruggono tutto se hanno un buco o un punto di discontinuità da dove iniziare a rosicchiare».

Risoluzione in ambito progettuale

È necessario progettare un supporto differenziato e condiviso per entrambe le categorie di animali:

· Agganci: progettare sistemi di ancoraggio con una portata superiore ai 150 g, garantendo la totale sicurezza per entrambe le categorie di animali. È previsto un sistema a pin per l'affissione di moduli personalizzabili in base all'ospite della camera calda.

· Scocca esterna e moduli: realizzare geometrie in polimero riciclato prive di angoli retti e pareti prive di fessure, capaci di contenere l'animale, resistere ad eventuali tentativi di fuga ed evitare deformazioni strutturali.

2.3.2 - Microclima e movimentazione d'aria

Divergenza emersa

Le camere calde commerciali (costi di acquisto tra i 350 € per i modelli di base fino a 1200€ per strutture più complesse) adotta nella maggioranza dei casi dei sistemi di riscaldamento ad aria ventilata. Tuttavia, la fonte veterinaria ha sconsigliato l'utilizzo di ventole ad azione diretta poiché provoca forte disidratazione nei piccoli volatili piumati a livello cutaneo e delle mucose e soprattutto può essere una fonte di stress acustico non indifferente. La ventola inoltre potrebbe far circolare nell'ambiente il piumaggio distaccato dal corpo dell'animale e favorire la circolazione di patogeni o spore fungine.

Analisi del problema

L'eventuale eliminazione della ventola non risolverebbe tuttavia il problema del ricambio d'aria, fondamentale per evitare l'accumulo di ammoniaca e CO_2 nella parte superiore della camera calda. La concentrazione di tali gas, generati dalle deiezioni, potrebbe infatti risultare fatale per le specie ospitate.

Risoluzione in ambito progettuale

A fronte di questa problematica emersa il sistema di riscaldamento deve essere necessariamente di tipo radiante e con convezione naturale controllata:

· La cessione del calore avviene tramite pareti o superfici radianti e non tramite getti diretti d'aria calda.

· Il ricambio d'aria invece è affidato ad un flusso passivo ottenuto posizionando alcuni fori di immissione nella parte frontale della camera calda.

2.3.3 - Architettura spaziale, modularità e prototipazione

Divergenza emersa

Il mercato offre attrezzature dalle dimensioni rigide monoblocco o grandi gabbie divisibili da 100x70cm con la possibilità di applicare scomparti interni che possono arrivare a costare anche 300€ per singolo scomparto. Durante il picco dei ricoveri, però il centro necessita di un elevato numero di vani singoli per evitare contagi.

Analisi del problema

L'acquisto di 15 unità commerciali da parte di un'associazione no-profit come il C.R.A.S. è insostenibile. Occorre quindi progettare in ottica open-source per rendere l'intero progetto fabbricabile con l'utilizzo della tecnologia FDM e materiali facilmente reperibili rimanendo sotto i 500€ per singolo modulo, garantendo l'adattabilità per le singole specie (range di temperatura 20-37°C e umidità compresa tra il 50 e il 70%.

Risoluzione in ambito progettuale

Il progetto teorico definisce una famiglia di formati modulari con geometrie interne a nido d'ape, scalabile dal modulo base 30x30cm fino al formato 50x50x50cm per piccoli mammiferi.

Ai fini della validazione pratica, per ragioni di ottimizzazione dei tempi di fabbricazione additiva e di stretta sostenibilità economica (budget di tesi), la fase sperimentale si concentra sulla realizzazione del singolo modulo compatto 30×30 cm.

2.3.4 - Posatoi a diametro variabile, teli e prevenzione del danno al piumaggio

Divergenza emersa

La letteratura tecnica riporta spesso dimensioni fisse per i supporti interni. L'indagine diretta con il veterinario ha smentito gli standard rigidi *(Elizabeth Mullineaux (Editor), Emma Keeble (Editor), 2017)*: i diametri dei posatoi devono spaziare da 10 mm a 30 mm a seconda della specie e dello stadio di sviluppo (da passeriformi a giovani rapaci). Inoltre, è emersa la fondamentale necessità di proteggere le strutture anatomiche degli animali: pareti ruvide o maglie metalliche spezzerebbero le penne dei volatili, compromettendone la liberazione in natura.

Analisi dei problemi

Gli accessori interni devono unire la flessibilità dimensionale e la delicatezza verso l'animale con i rigidi protocolli di igiene del centro e la necessità di igienizzare gli ambienti giornalmente e settimanalmente con il presidio medico chirurgico F10.

Risoluzione in ambito progettuale

Il sistema interno di allestimento è stato ingegnerizzato tramite un kit di accessori specie-specifici interscambiabili, testati in via preliminare sul prototipo 30×30 cm:

· Avifauna: Posatoi removibili a diametro variabile (10, 20, 30 mm) con innesto a baionetta rapido sui pin della scocca, e coppenido dedicate per nidiacei. Le pareti interne della camera sono rigorosamente lisce, caratteristica confermata dal veterinario come «sufficiente per evitare la rottura del piumaggio».

· Chirotteri: Pareti verticali munite di una speciale struttura a zanzariera/rete sintetica (sostituibile e sterilizzabile), identificata

dal veterinario come il materiale ideale per consentire l'arrampicata e la sospensione capovolta, abbinata a micro-tane in stoffa o lana oscuranti.

· Alimentazione e idratazione: Integrazione di ciotole dedicate di dimensioni standardizzate (diametro 50 mm, altezza 10–15 mm) con bordo rialzato anti-rovesciamento per la somministrazione di cibo vivo e acqua, estraibili rapidamente per ridurre i tempi di condizionamento del modulo.

2.4 - Requisiti negativi e scelte controintuitive

Nel design di un prodotto destinato ad ambienti clinici e di degenza per la fauna selvatica è fondamentale definire ciò che il prodotto stesso non deve fare. L'applicazione di standard derivanti da settori commerciali e dall'ambito dell'allevamento domestico rischia di portare a scelte progettuali dannose che devono essere evitate.

L' elaborazione dei dati raccolti presso il C.R.A.S. di Bernezzo ha evidenziato degli elementi presenti nei prodotti commerciabili che devono essere assolutamente esclusi nella progettazione. Tra questi sono stati individuati:

1. Trasparenza totale
2. Sistemi a griglia in metallo
3. Ventola d'aria diretta
4. Meccanismi di chiusura rumorosi

2.4.1 - Contrastare l'iperstimolazione visiva

Una delle scelte più controintuitive che si trova spesso sul mercato riguarda il grado di visibilità dell'interno delle teche.

· Prassi commerciale: i prodotti in commercio utilizzano pareti interamente trasparenti per permettere all'operatore di osservare l'animale all'interno.

· Critica veterinaria: per l'animale selvatico, già in condizioni di forte stress al momento del soccorso, risultare completamente visibile ed esposto aumenta la percezione di vulnerabilità di fronte a potenziali predatori *(Les Stocker MBE HonAssocRCVS, 2005)*. Questa condizione genera livelli di stress psicofisico eccessivi, estremamente pericolosi e potenzialmente fatali per il buon esito della degenza.

· Soluzione adottata: la camera calda prevede l'impiego di una sola parete trasparente destinata al monitoraggio, mentre il resto della struttura garantisce la completa copertura dell'interno. Per ottimizzare la gestione, sulla parete trasparente è inoltre predisposto un tessuto oscurante removibile, essenziale per ridurre al minimo lo stress visivo nei momenti in cui l'osservazione diretta non è strettamente necessaria.

2.4.2 - Eliminazione di fondi a maglia metallica

· Prassi commerciale: molte tipologie di camere calde diffuse in commercio sono dotate di griglie metalliche rialzate sul fondo per far cadere le deiezioni e velocizzare le operazioni di pulizia.

· Critica veterinaria: l'avifauna collocata al di sopra di queste griglie rischia di subire danni seri al piumaggio, mentre i piccoli mammiferi rischiano di riportare lacerazioni ai cuscinetti plantari *(Les Stocker MBE HonAssocRCVS, 2005)*.

· Soluzione adottata: il fondo della camera calda è stato progettato come una superficie interamente liscia in polimero plastico. Questa struttura predispone l'alloggiamento di un vassoio estraibile sul quale vengono adagiati gli animali, destinato ad accogliere traversine assorbenti o altri supporti utili a facilitare il lavoro del personale del centro.

2.4.3 - Esclusione della ventilazione diretta

· Prassi commerciale: nelle camere calde commerciali è molto comune l'impiego di ventole per uniformare istantaneamente la temperatura interna tramite un getto d'aria calda.

· Critica veterinaria: i pulli che non hanno ancora sviluppato il piumaggio risultano estremamente sensibili alle correnti d'aria dirette, le quali causano una repentina disidratazione cutanea, oculare e delle mucose. La veterinaria ha inoltre confermato che i flussi d'aria generati dalla ventola favoriscono il sollevamento di pulviscolo e particolato, potenziali vettori di agenti patogeni e infezioni.

· Soluzione adottata: totale esclusione delle ventole e dei flussi d'aria diretti a favore di un sistema di riscaldamento per irraggiamento/conduzione. Questo lavora in sinergia con un ricambio d'aria di tipo naturale, garantito da appositi fori di ventilazione.

2.4.4 - Limiti di prototipazione e perimetro di laboratorio (proof of Concept 30x30cm)

· Proof of concept: il prototipo in formato 30x30cm realizzato rappresenta il così detto "proof of concept". Questo oggetto è stato sviluppato per testare l'efficacia degli incastri, la rigidezza strutturale dei moduli, l'usabilità dei pin e l'integrazione del sistema di riscaldamento radiante.

· Fase prototipale: in linea con quanto espresso precedentemente è bene specificare che a causa di limiti di budget e di strumentazione disponibile l'elaborato realizzato non è da intendersi come prodotto di preproduzione industriale né come dispositivo medico-veterinario, bensì come un modello funzionale per la validazione delle ipotesi formalizzate nei paragrafi precedenti.

2.5 - Sintesi dei risultati ottenuti

L'indagine svolta con l'aiuto del C.R.A.S. di Bernezzo attraverso l'analisi (di gestione e clinica) è la redazione dei quattro nodi critici ci ha permesso di passare da osservazioni empiriche a vere e proprie linee guida su cui basare l'intero processo di progettazione.

Questo ci ha permesso di superare il concetto generico di camera calda come semplice contenitore riscaldato, definendo invece un sistema modulare integrato per la degenza e la biosicurezza della fauna selvatica.

Il capitolo seguente sintetizza il passaggio dalle evidenze raccolte durante le interviste (cfr. Appendice A) alle corrispondenti direttive del processo di design che hanno guidato lo sviluppo del prototipo.

2.6 - Ricerca di mercato

Per supportare la ricerca di Brief e affrontare al meglio la fase di Scenario (Cap. 4), è stata fatta una ricerca sullo stato dell'arte attuale delle camere calde in commercio.

Vi sono 3 tipologie identificabili di tipologie di camere calde:

A) Unità portatili (9-10L)

B) Unità da banco (40-100L)

C) Sistemi a pavimento (oltre 300L)

Considerando le tipologie di camere calde che il C.R.A.S. dispone e che abbiamo visionato in loco, abbiamo analizzato la categoria B presente sul mercato.

La ricerca ha censito un numero limitato di marchi attivi nel settore delle unità di riscaldamento e degenza per animali in difficoltà, ma il numero dei marchi non corrispondono con il numero di effettivi prodotti sul mercato, questo perché è risultato ci siano costruttori principali che vendono lo stesso apparecchio sotto nomi diversi, su due canali distributivi diversi.

Prendiamo come esempio Brinsea Products Ltd (UK) produce la line TLC , per il canale degli allevatori sia la linea Vetario venduta per il settore veterinario (stesso telaio, stesse dimensioni, ma prezzo diverso).

La stessa situazione la troviamo con l'azienda Autolex Co. Ltd. (KOR), dove con lo stesso modello commercializza il marchio Rcom e Curadle.

Questo comporta che in un mercato che sembra non disporre di molte alternative questo fattore riduce ulteriormente il campo di analisi.

Tolti i doppi marchi (prendendone solo uno, il più economico) e i rivenditori, i costruttori che offrono oggi un prodotto da banco nuovo, acquistabile, con specifiche pubblicate, sono quattro: Brinsea/Vetario (Regno Unito), Autoelex/Rcom-Curadle (Corea del Sud), Aeolus Pet (Taiwan, distribuito dagli Stati Uniti), VPL (Italia)

Un quinto, Lyon Technologies (Stati Uniti), ha cessato l'attività ed è reperibile solo nell'usato, quindi abbiamo deciso di escluderlo dalla nostra analisi.

Il quadro che emerge quindi non è quello di un mercato maturo, conteso da molti competitor sullo stesso spazio, ma di un numero molto ristretto di produttori, di piccola o media dimensione, il cui focus non rientra spesso nella esclusiva vendita di camere clade, ma spesso specializzati in altri settori.

Analizzando le peculiarità di ogni macchina abbiamo:

· Brinsea TLC-40/50: ventola a velocità variabile, nebulizzatore per l'umidità integrato, plastic antimicrobica Biomaster, uso in presenza di ossigeno

· Rcom-Curadle: porta scorrevole trasparente e cassetto per le deiezioni estraibile, ventole a basso consumo, lampada UV nel circuito di ventilazione (sterilizza oltre che riscaldare)

· Aeolus UC-1801: sensore di Gas CO_2, con soglia id allarme impostabile, Doppio sistema di riscaldamento e doppio strato isolante, umidificatore a ultrasuoni, griglia interna in acciaio inox, attacco per infusione oltre che per O_2

· VPL CIL TECH 70: l'unico con filosofia costruttiva opposta a tutti gli altri: riscaldamento radiante a parete (3 pareti + fondo, 4 elementi) invece di aria forzata, guscio in alluminio sigillato anziché plastica. Tolleranza dichiarata stretta, ±0,2 °C.

Nei prossimi capitoli analizzeremo meglio le esigenze che il nostro progetto dovrà rispondere, non solo prendendo esempio dalle macchine sul mercato ma anche da esperienze e consigli accumulate dal personale dell'associazione.

03
Brief

3.1 - Brief Progettuale

Il brief di progetto si pone come obiettivo quello di esplicitare con chiarezza l'essenza di questo studio e le parti coinvolte nello stesso affinché si arrivi ad un risultato concreto e tangibile.

Tutte le scelte progettuali che sono analizzate nei capitoli successivi sono interamente sintesi basate su quanto emerso nei capitoli precedenti ed in particolare:

· Dalla ricerca sul campo (Cap.2) e dall'analisi dei dati forniti dall'associazione nel recupero delle specie selvatiche di piccole dimensioni.

· Dalla ricerca di mercato (Cap. 2) che ha confermato la carenza di dispositivi commerciali adatti alle esigenze dei centri di recupero della fauna selvatica.

La risposta a queste esigenze si è concretizzata nella progettazione di una camera calda (o nursery): un'unità chiusa a temperatura, umidità e ventilazione controllata. Questo dispositivo opera nel contesto dei salvataggi e permette di svolgere tre funzioni principali per il benessere animale:

· Ipotermia: riscaldamento graduale degli animali debilitati, per portarli in sicurezza alla corretta temperatura corporea.

· Degenza e terapia: supporto per il monitoraggio dell'animale e somministrazione delle terapie di base.

· Sostituzione del calore materno: ambiente protetto per la degenza, sostituisce il calore materno e il calore della tana.

(Nota: trattandosi di un proof of concept il progetto non prevede l'inserimenti di bocchette per la circolazione di ossigeno somministrato attraverso bombola poiché necessiterebbe di specifiche certificazioni, evitando di diventare un pericolo per l'animale e per gli operatori che maneggiano l'oggetto).

3.2 - Fondamenti di progetto

Il brief progettuale si articola quindi su tre pilastri fondamentali:

· Modularità e personalizzazione: il prototipo deve mostrare agli operatori le configurazioni offerte e la conseguente di riconfigurazione degli spazi interni e della customizzazione dei moduli specifici per ciascun animale.

· Approccio Open-source: Affinché il PoC (proof of concept) sia effettivamente replicabile ed economico per associazioni come il C.R.A.S., si predilige per la produzione l'utilizzo di tecnologia FDM associata all'utilizzo di hardware standard.

· Benessere animale: tutto il processo di progettazione deve avere come obiettivo principale quello di garantire il benessere animale degli ospiti che verranno inseriti all'interno della camera.

3.3 - Perimetro operativo

Il progetto prevede una fase di ingegnerizzazione con disegni costruttivi e modellazione 3D attraverso l'utilizzo di programmi di modellazione che garantiscano una certa qualità formale e dimensionale volta a minimizzare l'errore e a creare geometrie ottimizzate allo scopo dell'oggetto progettato.

É bene considerare all'interno del brief alcune caratteristiche richieste dalla committenza veterinaria e di gestione che possono essere inscritti in quelli che definiamo i principi del buon design:

1. Facilità di trasporto: il prodotto presenta una struttura modulare e completamente smontabile. Questa caratteristica agevola notevolmente le fasi di trasporto e stoccaggio, un aspetto fondamentale per i centri di recupero che dispongono di spazi ridotti.

2. Facilità di montaggio e manutenibilità: garantire un processo di assemblaggio chiaro e intuitivo consente all'operatore non solo di smontare il dispositivo in caso di necessità, ma anche di sostituire autonomamente eventuali componenti usurate o danneggiate dall'impiego intensivo. L'intera struttura sfrutta unioni reversibili unificate e innesti magnetici per agevolare al massimo le operazioni quotidiane del centro.

3. Finitura ed estetica formale: valorizzazione di un'estetica essenziale per ogni singolo materiale, pensata per agevolare sia la percezione visiva dello stato di pulizia dell'oggetto, sia la chiara distinzione delle sue componenti.

4. Sicurezza dell'operatore e biosicurezza: il prototipo deve necessariamente escludere ogni tipo di pericolo che possa ledere alla sicurezza degli operatori o degli animali.

3.4 - Specifiche tecniche e controllo ambientale

3.4.1 - Isolamento termico e architettura strutturale

La camera calda opera in ambiente controllato al chiuso all'interno di un edificio. Deve poter essere regolata la sua temperatura interna tra un range che va dai 20 ai 30°C, estendibile in base poi alle differenti esigenze cliniche.

Per diminuire al massimo la dispersione del calore e la creazione di ponti termici, tutta la struttura si trova sollevata dal piano d'appoggio. Questo garantisce l'isolamento dell'intero sistema, in oltre le pareti, fatta eccezione per quella trasparente, sono progettate con una struttura a sandwich. Ogni parete, quindi, ha a disposizione un'intercapedine che isola l'ambiente interno da quello esterno.

Queste accortezze sono fondamentali per minimizzare i consumi elettrici e rendere efficiente la produzione di calore evitando che questo possa essere disperso nell'ambiente.

3.4.2 - Ergonomia, accessibilità e biosicurezza

Un altro aspetto fondamentale da integrare nella progettazione riguarda la necessità di ridurre al minimo lo stress dell'animale in degenza durante lo svolgimento delle operazioni quotidiane (alimentazione, pulizia, controllo):

· Aperture multi-faccia: l'anta frontale permette di monitorare l'interno, permettendo all'operatore di scegliere la via di accesso meno invasiva e limitando di conseguenza la dispersione del calore o eventuali tentativi di fuga.

· Isolamento dell'impianto elettrico: l'intero impianto è completamente isolato dalla camera di degenza. Il quadro elettrico vero e proprio si trova all'interno di un vano separato per evitare che l'umidità o altri agenti possano danneggiare i collegamenti. Tutti i cavi passano inoltre all'interno delle intercapedini delle pareti, evitando l'uso di passacavi aggiuntivi e facilitando le operazioni di manutenzione.

3.4.3 - Elettronica di controllo e alimentazione

L'elettronica del dispositivo è interamente gestita e affidata ad un microcontrollore dedicato che analizza tutti i dati ottenuti dai sensori e gestisce l'intero codice per il funzionamento dell'impianto elettrico.

La parte hardware comprende:

· Alimentatore a 12V: garantendo la sicurezza della corrente a bassa tensione e allo stesso tempo la possibilità di alimentare il sistema con batterie esterne o utilizzando la presa 12V dell'automobile in situazioni di emergenza con necessità di utilizzo della camera sul campo.

· Tappetini riscaldanti: la struttura sarebbe predisposta per ospitare fino a tre tappetini riscaldanti impermeabili e ignifughi così da garantire una distribuzione del calore. (In questa fase di Proof of Concept (PoC) il sistema di regolazione della temperatura è dotato di un singolo tappetino sufficiente a dimostrare la fattibilità tecnica del circuito di controllo, la risposta dei sensori e la capacità di isolamento della camera calda.)

· Sensori di temperatura e umidità: posizionati all'interno della camera forniscono i dati necessari al corretto funzionamento del piatto riscaldante e mostrano eventuali problematiche o malfunzionamenti.

· Sensore di ammoniaca e monossido di carbonio: questo sensore permette di avvertire gli operatori in caso di innalzamento dei livelli di anidride carbonica e ammoniaca potenzialmente letali per gli animali all'interno.

· Interfaccia utente: tutte le informazioni e i dati che vengono raccolti dai sensori sono mostrati e resi chiari sullo schermo.

04
Scenario di progetto

Definiti i presupposti teorici di questo progetto, possiamo ora concentrarci sullo scenario operativo da cui prenderà vita il nostro studio. Aspetto fondamentale di ogni progetto che si rispetti riguarda il fatto di calarsi in un perimetro d'azione ben delineato.

Lo sviluppo della proposta si articola attraverso 4 pilastri fondamentali e interconnessi: ovvero il Target (paragrafo 4.1) e quindi la mappatura dei destinatari diretti e indiretti, il Contesto (paragrafo 4.2), inteso come ecosistema fisico, tecnologico o socioculturale in cui il progetto andrà ad inserirsi. Il Concept (paragrafo 4.3) caratterizzato dall'idea alla base del progetto su cui verrà costruito l'intero studio e infine i Principi del buon design (paragrafo 4.4) che fanno parte e contribuiscono alla buona riuscita di un progetto.

4.1 - Target

I destinatari di questo progetto possono essere definiti in due diverse categorie. Gli operatori del centro in primis che saranno gli utilizzatori del prodotto e gli ospiti (animali) della camera stessa.

4.1.1 - Gli Operatori (utenti attivi)

Gli operatori sono l'utenza diretta del prodotto. Coloro che quotidianamente interagiranno con la soluzione progettata per svolgere le proprie mansioni. Questa categoria include il personale veterinario, i tecnici di laboratorio e i volontari del C.R.A.S. Per essi le priorità sull'usabilità si focalizzano sull'efficienza del prodotto e sulla riduzione del carico cognitivo. Il prodotto funge da strumento facilitatore capace di integrarsi nella loro routine senza generare attriti stress o rallentamenti operativi. È necessario ottimizzare l'interazione personale-prodotto affinché gli operatori possano monitorare o gestire la degenza in modo fluido, preciso e sicuro.

La camera calda si pone come obiettivo di essere facilmente utilizzata e compresa da tutti gli operatori. A partire dal personale veterinario tutte le categorie di personale devono essere in grado di approcciarsi al prodotto, montandolo, smontandolo, modificarlo a proprio piacimento e ad azionarlo.

4.1.2 - Gli animali (utenti

passivi)

Gli animali ricoverati rappresentano il secondo target di riferimento. Pur essendo utenti passivi, costituiscono i destinatari fondamentali dell'intero processo progettuale.

L'ingresso in degenza è solitamente accompagnato da uno stato di grave shock, ipotermia, traumi o scompensi metabolici. La camera calda si configura quindi come un ambiente protetto e isolato, capace di garantire sicurezza ed evitare sollecitazioni esterne potenzialmente dannose.

4.2 - Contesto

Il progetto si colloca nello scenario operativo dei Centri di Recupero Animali Selvatici (C.R.A.S.), un network di strutture che negli ultimi anni ha visto estendere la propria rete di collaborazione a diverse associazioni protezionistiche, enti locali e realtà del terzo settore impegnate nella tutela della fauna.

Crisi e Contesto	Descrizione / Dettaglio
CRISI CLIMATICA	Anomalie termiche ed eventi esterni
EMERGENZA CRAS	Traumi, ipotermia, shock
DIVARIO TECNOLOGICO	Strumenti obsoleti e risorse ridotti
PROPOSTA PROGETTUALE CAMERA CALDA	Flessibile, modulare, Open-Source

Vi è la necessità di tecnologie a supporto di questi centri che parte da una drammatica urgenza del nostro momento storico. La crisi climatica che segna la nostra epoca provoca danni che si ripercuotono sugli ecosistemi e sulla sopravvivenza delle specie selvatiche. Anomalie termiche, ondate di calore, siccità estrema ed eventi meteorologici catastrofici rappresentano le principali minacce per la fauna selvatica. In questo contesto il tasso di animali che subiscono traumi, ferite gravi o scompensi termici (ipotermia, disidratazione, colpi di calore) è in costante aumento. Le associazioni come i C.R.A.S. si trovano davanti ad una vera e propria emergenza legata ai flussi di ingressi sempre più massicci e difficili da gestire. Gli animali selvatici soccorsi giungono all'interno della struttura in forte stato di shock e sono proprio le prime ore dal ritrovamento che risultando fondamentali per la loro sopravvivenza. In questo contesto le strutture d'emergenza evidenziano un divario tecnologico e logistico: la scarsità di risorse e la necessità di gestire specie dalle esigenze termiche e biologiche radicalmente diverse mettono a dura prova l'efficacia degli interventi. La progettazione di una camera calda flessibile, intuitiva e mirata risponde esattamente a questo problema, diventando uno strumento cruciale nella catena del soccorso per massimizzare le percentuali di successo terapeutico e di successivo reinserimento in natura degli animali.

4.3 - Concept

Il concept si può identificare come le fondamenta su cui si basa il progetto, ovvero il frame su cui si andrà a strutturare tutta la fase di progettazione.

Si può definire in tre punti:

· Target

· Valori del committente

· Modalità + outcome

Il nostro progetto punta a soddisfare i bisogni del nostro target ovvero gli operatori dell'associazione C.R.A.S. ODV, puntando a migliorare le condizioni di recupero e rendendo la strumentazione più adeguata all'utente finale, ovvero gli animali in degenza. Puntiamo a sviluppare un dispositivo indispensabile nelle prime fasi di cura dell'animale, ovvero una nuova generazione di camera calda.

Essendo utile per tutte le piccole specie di animali che l'associazione recupera, vi è la necessità di sviluppare strumentazione specifica per le differenti tipologie di degenti, adattandoli in concomitanza allo studio biologico.

Il progetto seguirà un rigoroso metodo progettuale, per puntare a soddisfare requisiti nati da esigenze individuate, che saranno soddisfatte tramite prestazioni del prodotto finito. Il risultato non sarà solo la soluzione a problematiche presenti nei processi operativi della committenza, ma sarà un tassello utile al supporto dell'ecosistema locale.

4.4 - Principi del buon design

4.4.1 - Dieter Rams e i 10 principi

Durante la definizione dello scenario di progetto e il concept (CAP 4–4.3), ci si trova in un sistema olistico, ovvero all'interno di una cornice di elementi non misurabili, che rendono la fase di progettazione complessa. Questa situazione era stata ben compresa da Dieter Rams che durante la fine degli anni 70' aveva osservato "un impenetrabile confusione di forme, colori e rumori", guidandolo alla fatidica domanda "il mio è un buon design?"Poiché la qualità di un progetto non è misurabile in modo assoluto, Rams traduce quella domanda in dieci criteri di giudizio nel 1985. Questi criteri non sono valori prescrittivi, ma sono parametri utili alla comprensione e analisi critica del proprio progetto *(Vitsœ, s.d.)*. I 10 principi sono:

1. è innovativo;
2. rende utile un prodotto;
3. è estetico;
4. rende un prodotto comprensibile;
5. è discreto;
6. è onesto;
7. è duraturo;
8. è accurato fino all'ultimo dettaglio;
9. è rispettoso dell'ambiente;
10. è il minor design possibile.

4.4.2 - Svolta politecnica

A distanza di ormai 40 anni, alcuni di questi punti si possono ritenere pienamente assorbiti dalla cultura della progettazione, ad esempio, il principio del rispetto ambientale (9), insieme a quello della durata della vita di un prodotto (7), è stato approfondito a partire dagli anni Novanta nel quadro delle strategie per la sostenibilità del prodotto; parallelamente, i principi legati al linguaggio del prodotto (4, 5, 6, 10) e quelli relativi alla sua dimensione sociale hanno richiesto un'articolazione più fine. Per questo motivo il Politecnico di Torino ha rivisitato i principi sviluppati da Dieter Rams, per creare una bussola più coerente alla cornice di fattori odierni, articolando 12 principi in 3 principali categorie: sostenibilità, linguaggi e utenza allargata.

4.4.3 - Applicazione dei 12 principi

I principi, quindi, sono e devono essere adottati come criteri di orientamento, nel nostro progetto verranno infatti tenuti in conto durante la stesura del sistema esigenziale-prestazionale (CAP.5) e della proposta (Capitolo 7), mentre la verifica del loro effettivo soddisfacimento sarà condotta nelle conclusioni (Capitolo 10).

Codice	Principio	Categoria	Applicazione progettuale
P1	Leggero	Sostenibilità	Ottimizzazione della massa della scocca, utilizzo di materiali a bassa densità, elementi di unione tra le parti forati per alleggerire la struttura.
P2	Tendente al monomaterico	Sostenibilità	Selezione ove possibile di una matrice polimerica prevalente (HDPE per le pareti, rPETG per le parti stampate in 3DI. Escluso l'utilizzo di materiali bi-accoppiati.
P3	Affidabile e durevole	Sostenibilità	Geometrie e componentistica scelte per durare nel tempo e minimizzare eventuali sostituzioni di parti frequenti. Elettronica scelta con elevati standard di sicurezza e industriali che garantiscono unioperatività nei cicli h24 di degenza.
P4	Manutenibile e Aggiornabile	Sostenibilità	L'intero oggetto è smontabile e aggiornabile mediante l'utilizzo di sole unioni reversibili e unificate M3. Le operazioni di montaggio e smontaggio avvengono unicamente con l'utilizzo di una chiave a brugola. La cavetteria e i componenti hardware sono connessi tramite morsetti a vite, anch'essi scelti per una maggiore facilitazione nei processi di manutenzione.
P5	Disassemblabile e smontabile	Sostenibilità	Struttura del sistema compatibile senza l'utilizzo di collanti o unioni irreversibili. Possibile ridimensionamento per lo stoccaggio nei periodi di inutilizzo e per le spedizioni.
P6	Attento al fine vita	Sostenibilità	Ogni materiale di cui è composta la camera calda può essere riciclato e separato dal resto della struttura per il corretto smaltimento.
P7	Semplice	Linguaggi	Interfaccia utente semplice e intuitiva. I dati vengono mostrati sullo schermo in maniera immediata.
P8	Comprensibile ed ergonomico	Linguaggi	L'assemblaggio è facilitato da angolari chiari e da maniglie integrate nella geometria della struttura per una presa sicura. L'interazione è intuitiva grazie all'affordance immediata dei punti di apertura/chiusura e al display inclinato a 45°, che garantisce una comoda lettura dei dati dall'alto.
P9	Identitario e contestuale	Linguaggi	//
P10	Accessibile e condivisibile	Utenza allargata	Rilascio del file CAD 3D e del firmware con licenza Open-source soltanto a seguito delle verifiche e certificazioni necessarie sulla sicurezza. Documentazione distribuita su piattaforme Maker per consentire la replica o l'autoriparazione.
P11	Flessibile e Personalizzabile	Utenza allargata	Interni configurabili tramite moduli di aggancio rapido per griglie rigide o teli morbidi sospesi, adatti al riposo della fauna.
P12	Sicuro	Utenza Allargata	Alimentazione dei circuiti interni a bassa tensione (12V). Elementi interni della camera privi di parti

4.4.4 - Conflitti tra i principi

I diversi principi individuati e le relative risposte progettuali possono talvolta risultare conflittuali; in questa sezione si analizzano nello specifico i principali conflitti emersi e le soluzioni adottate per superarli.

1. Leggerezza contro capacità di carico e stabilità

Conflitto: la riduzione della massa complessiva dell'oggetto porta a un potenziale indebolimento strutturale, dovuto proprio al ridotto spessore delle pareti, con il rischio di compromettere la durabilità del prodotto.

Risoluzione: si è scelto di mantenere spessori contenuti per le pareti principali, concentrando il rinforzo esclusivamente sui punti di appoggio, ancoraggio e sulle zone sollecitate. In questo modo si garantisce il supporto strutturale necessario solo dove richiesto da sollecitazioni maggiori.

2. Smontabilità contro isolamento termico e sicurezza

Conflitto: l'utilizzo di pareti componibili e disassemblabili può generare linee di giunzione marcate che provocano dispersioni di calore o creare punti di incastro che risulterebbero pericolosi per la fauna degente.

Risoluzione: è necessario minimizzare le fessure potenzialmente pericolose e calcolare molto bene le tolleranze e le misure che possano evitare questo fenomeno. Pareti su misura e doppia parete a sandwich minimizzano la creazione di fessure, garantendo un isolamento termico e planarità delle superfici.

3. Accessibilità Open-Source contro Affidabilità clinica

Conflitto: L'impiego di componentistica elettronica off-the-shelf e di facile reperibilità potrebbe entrare in contrasto con i severi requisiti di affidabilità e le standardizzazioni stringenti imposte dai sistemi di controllo industriali.

Risoluzione: Adozione di componenti elettronici con certificazioni di grado industriale e di architetture di sicurezza collaudate su larga scala. Come evidenziato nei capitoli precedenti, questo Proof of Concept ha l'obiettivo di dimostrare la fattibilità complessiva del progetto, pur delineandone i limiti applicativi che richiederanno fasi di test e validazione a lungo termine.

4.4.5 - Griglia di valutazione e Verifiche del progetto

I 12 principi codificati fungono da griglia di valutazione finale. Ciascun criterio è abbinato a un indicatore di verifica (KPI) e a un metodo di test per il capitolo conclusivo di validazione:

Cod.	Indicatore di verifica	Metodo di validazione
P1	Peso complessivo < 3,5 kg	Pesata diretta del prototipo
P2	Separabilità materiali	Analisi distinta delle componenti
P3	Carico strutturale 3 kg	Test di carico statico e flessione
P4	Tempo sostituzione scheda	Test di manutenzione guidata (< 5 min)
P5	Volume ridotto in stoccaggio	Misura ingombro pack piatto (-50%)
P6	Presenza codici di riciclo	Verifica marcatura ISO dei componenti
P7	Tempo di impostazione T°	User test su operatori CRAS (< 30 sec)
P8	Ergonomia di presa e visione	Verifica angoli di visione e maniglie
P9	Coerenza visiva d'insieme	Valutazione qualitativa dell'estetica
P10	Completezza repository	Verifica scaricabilità pacchetto CAD
P11	Tempo variazione assetto	Test cambio configurazione specie
P12	Assenza spigoli	Test cambio configurazione specie

I dati raccolti da questa griglia serviranno nel Capitolo 10 (Conclusioni) per misurare lo scostamento tra le promesse progettuali iniziali e le prestazioni del prototipo finale.

05
Sistema esigenziale - prestazionale

Il Sistema Esigenziale/Prestazionale esplicita le esigenze dei singoli attori che entreranno in contatto con il prodotto della progettazione. Vale a dire non solamente le Esigenze dell'utilizzatore finale (individuato dal target), ma anche del produttore, dei soggetti che si occuperanno della gestione (trasporto, vendita, manutenzione, ecc.), e di tutti gli altri soggetti che in qualche modo entreranno in contatto con il prodotto (altri target, ma anche lo stesso contesto territoriale e ambientale).

Da qui la definizione di cinque Utenze fondamentali:

U1 - l'Utenza d'uso 1: categoria rappresentata dagli operatori che lavorano all'interno del C.R.A.S. di Bernezzo, compreso il personale veterinario.

U2 – Utenza d'uso 2: categoria rappresentata dai pazienti ospitati all'interno delle camere di degenza.

U3 - l'Utenza di produzione 3: delinea i vincoli e le esigenze dei progettisti e dei processi produttivi ad essi collegati.

U4 - l'Utenza di gestione 4: rappresenta coloro che operano sul prodotto nelle fasi preliminari all'impiego, gli addetti al trasporto e alla manutenzione o gestione, compresa la vendita.

U5 - l'Utenza ambientale 5: rappresenta l'ambiente nella sua accezione più vasta, fisico-emotivo, fisico-espressivo e come contesto delle problematiche ecologiche.

U6 - l'Utenza sociale 6: utenza allargata, impatto comunicativo della struttura e le dinamiche di percezione da parte del pubblico.

La mappatura delle cinque utenze fornisce al progettista una mappa delle criticità mettendo a confronto istanze; il Sistema Esigenziale/Prestazionale diventa un dispositivo decisionale per bilanciare i vincoli e guidare le scelte d'innovazione in modo oggettivo.

5.1 - Tabella Esigenziale-Prestazionale

La tabella seguente permette di sintetizzare e produrre dati quantificabili e precise direttive progettuali che sono state definite empiricamente nei capitoli che riguardano Brief (Capitolo 3) e Target (Capitolo 4.1).

Come si evince dalla tabella vi sono cinque livelli logici interconnessi tra loro che sono analizzati di seguito:

1. Utenza: attore o contesto di riferimento (U1....U6)

2. Esigenza: bisogni espressi catalogati secondo cinque classi esigenziali (Sicurezza, Benessere, Fruibilità, Aspetto, Gestione, Integrabilità e Salvaguardia dell'ambiente)

3. Requisito: si tratta della traduzione dell'esigenza in una caratteristica qualitativa del prodotto, integrata con la fonte da cui deriva.

4. Prestazione: quantificazione tecnica e misurabile.

5. Metodo di verifica: modalità di verifica delle prestazioni raggiunte analizzate nello specifico al Capitolo 10.

Cod. Utenza	Cod. Esigenza	Classe Esigenziale	Esigenza	Cod. Requisito	Requisito	Fonte	Cod. Prestazione	Prestazione Target per il PoC (Valori e Unità)
U1 (Operatori CRAS)	E1	Benessere / Fruibilità	Controllo e monitoraggio visivo	R1.1	Trasparenza visiva	Intervista veterinario CRAS	P1.1a	Pannello frontale trasparente in PMMA (trasmissione luminosa ≥ 80%).
U1 (Operatori CRAS)	E1	Benessere / Fruibilità	Controllo e monitoraggio visivo	R1.2	Monitoraggio parametri clinici	Intervista veterinario CRAS	P1.2a	Modulo IoT integrato con display TFT e 12 pin per la lettura di T (20–35 °C), UR (50–70%) e stato piastre.
U1 (Operatori CRAS)	E2	Sicurezza	Chiusura e contenimento sicuro	R2.1	Chiusure ermetiche	Intervista veterinario CRAS	P2.1a	Chiusure a scatto/ magnetiche a prova di fuga (forza di ritenuta ≥ 20 N).
U1 (Operatori CRAS)	E3	Fruibilità	Accessibilità per manovre cliniche	R3.1	Accesso doppio e rapido	Intervista operatore CRAS	P3.1a	Apertura frontale circolare con sportello rotante dimensione 120mm
U1 (Operatori CRAS)	E4	Fruibilità	Facilità di montaggio guidato	R4.1	Inserimento guidato anti-errore	Brief di progetto / Ergonomia	P4.1a	Inserti con guida geometrica obbligata preventivamente forati per l'alloggiamento degli inserti.
U1 (Operatori CRAS)	E5	Fruibilità	Trasportabilità ed ergonomia	R5.1	Leggerezza della struttura	Brief di progetto	P5.1a	Peso complessivo del dispositivo ≤ 10 kg.
U1 (Operatori CRAS)	E5	Fruibilità	Trasportabilità ed ergonomia	R5.2	Prese ergonomiche	Analisi antropometrica	P5.2a	Maniglie sagomate ergonomiche per facilitare l'apertura con guanti o mani bagnate.
U1 (Operatori CRAS)	E6	Gestione	Manutenibilità e disassemblabilità	R6.1	Disassemblabilità rapida	Principles of DFA	P6.1a	Tempo totale montaggio/smontaggio ≤ 15 min per 1 singolo operatore.
U1 (Operatori CRAS)	E7	Sicurezza	Controllo microclima e sicurezza elettrica	R7.1	Microclima costante	Intervista veterinario CRAS	P7.1a	Range di temperatura 20–33 °C con tolleranza di precisione ± 0.5 °C.
U1 (Operatori CRAS)	E7	Sicurezza	Controllo microclima e sicurezza elettrica	R7.2	Sicurezza elettrica	Normativa CE / Sicurezza	P7.2a	Vano elettrico separato dalle degenze; alimentazione a bassa tensione (12 V DC, possibilità di collegarsi in sicurezza al 12 V di un'autovettura).
U2 (Animali / Degenti)	E8	Benessere	Benessere termico	R8.1	Microclima termico controllato	Intervista veterinario CRAS	P8.1a	Riscaldamento uniforme con piastre radianti; assenza di flussi d'aria diretti condizionati.
U2 (Animali / Degenti)	E9	Benessere / Fruibilità	Adattabilità etologica alle specie	R9.1	Moduli inserti dedicati	Analisi etologica (Chirotteri, Mammiferi, Avifauna)	P9.1a	Chirotteri: sacco/rete a verticale in tessuto. Avifauna: posatoi Ø 8–40 mm riciclati e 3D mm inserti per l'inserimento di tessuto forato.
U2 (Animali / Degenti)	E10	Benessere / Sicurezza	Igiene e separazione deiezioni	R10.1	Griglia/Piano di fondo	Presidi sanitari CRAS	P10.1a	Fondo rialzato tramite vassoio
U2 (Animali / Degenti)	E11	Benessere	Isolamento acustico e visivo	R11.1	Riduzione dello stress	Intervista veterinario CRAS	P11.1a	Rumore residuo < 35 dBA; oscurabilità parziale tramite tenda in tessuto.
U3 (Produzione)	E12	Gestione	Ottimizzazione produttiva	R12.1	Componenti standard e stampa 3D	Processi DFM / Stampa 3D	P12.1a	Tolleranza accoppiamenti parti stampate in 3D ± 0,2 mm; viteria standard M3
U3 (Produzione)	E13	Gestione	Standardizzazione viteria	R13.1	Strumentario unico	Principles of DFA	P13.1a	Montaggio completo eseguibile mediante 1 asta chiave a brugola (3 mm).
U4 (Gestione)	E14	Gestione	Facile pulizia e sanificazione	R14.1	Resistenza chimica e lavabilità	Protocolli sanificazione	P14.1a	Protezione vano elettrico.
U4 (Gestione)	E15	Gestione / Integrabilità	Regolazione del posizionamento	R15.1	Piedini regolabili	Progettazione ergonomica	P15.1a	4 piedini regolabili con corsa millimetrica, altezza da terra 2cm
U5 (Ambientale)	E16	Salvaguardia dell'ambiente	Riduzione impatto ambientale	R16.1	Materiali riciclabili	Criteri Eco-Design	P16.1a	Polimeri 100% riciclabili (PETG, HDPE, PMMA); assenza di incollaggi irreversibili.
U6 (Sociale)	E17	Integrabilità / Aspetto	Impatto comunicativo e didattico	R17.1	Interfaccia utente intuitiva	Intervista veterinario CRAS	P17.1a	Interfaccia grafica del display ioT intuitiva sia per veterinari, sia per volontari e per gli operatori.

5.2 - Appunti metaprogettuali

All'interno del processo metodologico, la fase degli appunti progettuali funge da unione tra l'analisi dei dati e l'atto creativo. La redazione di schizzi preliminari non ha una finalità unicamente estetica ma si lega esattamente alle prestazioni che l'oggetto deve soddisfare. Questi disegni permettono di materializzare i flussi, le funzioni e le interazioni dell'oggetto di studio. Anticipando visivamente le performance del progetto, questa pratica riduce il margine di incertezza, delineando i pilastri concettuali e geometrici che costituiranno l'intero iter, guidando in modo analitico il successivo passaggio alla progettazione vera e propria.

In linea con questa premessa metodologica, nelle sezioni seguenti vengono presentati e analizzati gli schizzi metaprogettuali elaborati.

Questo primo schizzo definisce "l'architettura" del dispositivo, focalizzandosi sull'integrazione tra flessibilità d'uso, sicurezza (E2) e portabilità (E5). L'ossatura dell'oggetto è concepita attraverso un sistema di pannelli perimetrali intercambiabili e reversibili, per massimizzare la manutenibilità e la riconfigurazione della scocca (R6.1) *[Fig. 1]*. All'interno di questa matrice strutturale vengono collocate tutte le componenti posizionate in maniera indipendente l'una dalle altre. La loro integrazione alla scocca principale avviene tramite innesti rapidi di tipo magnetico oppure a baionetta, una scelta che predilige il concetto del design for disassembly che velocizza le operazioni di manutenzione, sostituzione e sanificazione (R6.1, P6.1a). L'intero sistema è dotato di guide obbligate secondo la logica poka-yoke (R4.1, P4.1a), garantendo un accoppiamento univoco e sicuro dei componenti.

Il sistema è concepito come un microambiente terapeutico polivalente e ad aspetto variabile, ingegnerizzato per accogliere e isolare tre categorie di degenti biologicamente, etologicamente ed ergonomicamente eterogenei tra loro: i chirotteri, i piccoli mammiferi e l'avifauna di piccole dimensioni (E9). Ognuna di queste categorie di animali manifesta pattern comportamentali e necessità posturali molto differenti.

Questo si traduce in una serie di accessori e componenti interni specializzati (R9.1, P9.1a), differenti in dimensioni, morfologia, materiali e modalità d'uso.

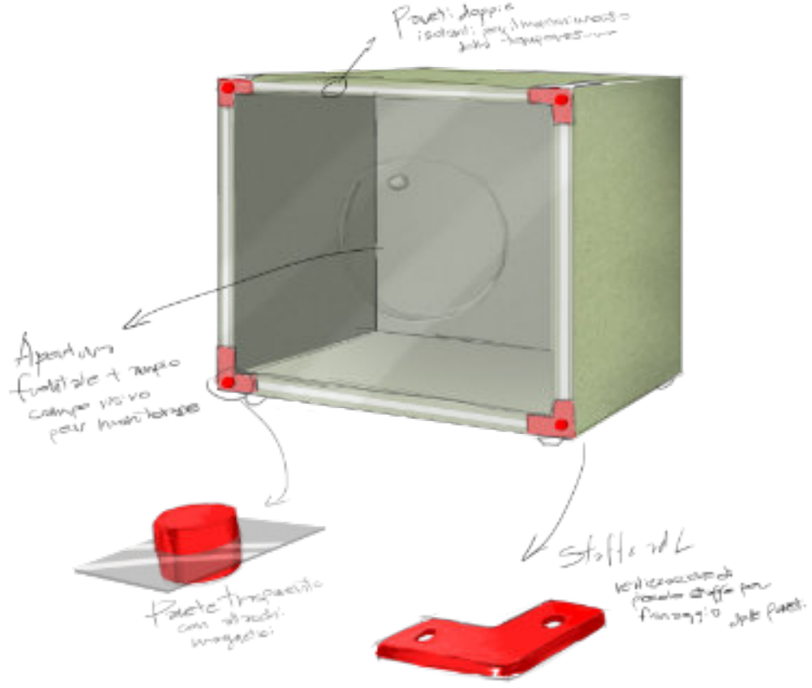


Figura 1. Schizzo metaprogettuale della camera calda



Figura 2. Schizzo descrittivo dei degenti

Per quanto concerne i chirotteri, ad esempio ci troviamo di fronte ad esigenze posturali molto diverse da altri animali. Sono infatti animali che trascorrono le fasi di riposo e degenza in sospensione verticale o zenitale. Al contempo, data l'elevata sensibilità dei pipistrelli agli stimoli luminosi, questo supporto integra microtane a tasca volte a simulare gli anfratti corticali o rocciosi propri dei loro habitat naturali, riducendo lo stress (E11, R11.1, P11.1a). Al contrario la configurazione dedicata ai piccoli mammiferi privilegia lo sviluppo planare e orizzontale. La terza variante d'assetto è richiesta dall'avifauna, i cui requisiti principali risiedono nella salvaguardia degli apparati alari. Ogni configurazione presenta una parte sollevata per separare ciascun animale dalle proprie deiezioni (E10, R10.1, P10.1a).

Con questa complessità delle configurazioni è necessario standardizzare le interfacce di aggancio basate su innesti rapidi. Ciascun operatore ha la possibilità di convertire l'ambiente interno in pochi secondi, trasformando la camera calda in un sistema adattivo in grado di rispondere prontamente alle emergenze del centro.

Un altro vincolo di natura antropometrica e funzionale è rappresentato dal peso dell'oggetto che non deve superare la soglia dei 10 chili (E5, R5.1, P5.1a). Questo aspetto non riguarda esclusivamente una necessità di alleggerimento strutturale, bensì una precisa strategia orientata all'ergonomia d'uso. Una struttura notevolmente alleggerita contrasta la rigidità dei macchinari clinici tradizionali. Questa spiccata attitudine allo spostamento permette di configurare liberamente lo spazio di lavoro, ottimizzando i flussi operativi all'interno dell'ambulatorio. Al fine di agevolare l'interazione fisica e minimizzare lo sforzo biomeccanico la scocca è sollevata dal piano per agevolare gli spostamenti (R5.2). L'integrazione di tali parti assicura che le operazioni di sollevamento avvengano con rapidità e con il minimo dispendio energetico.

Sotto il profilo dell'ottimizzazione dei processi di assemblaggio, l'intero sistema prodotto risponde alle logiche del Design for Assembly (DFA), semplificando le procedure di montaggio e manutenzione (E6, E12). L'architettura del dispositivo è ingegnerizzata per richiedere l'impiego di un singolo operatore e per essere completata entro un limite temporale massimo di 60 minuti (R6.1, P6.1a). Al fine di garantire tale immediatezza e ridurre la complessità degli strumenti, la scelta della componentistica di fissaggio è rigorosamente standardizzata (R12.1). Il sistema prevede l'utilizzo esclusivo di viti a testa esagonale incassata, la cui installazione è affidata all'impiego di una singola chiave a brugola (E13, R13.1, P13.1a). Questa decisione metodologica elimina la necessità di un set di attrezzi articolato, riduce il rischio di smarrimento dei componenti e previene il deterioramento delle teste delle viti durante le operazioni di serraggio.

La standardizzazione della viteria e dello strumento di manovra non solo velocizza l'assemblaggio iniziale, ma rende l'intero ciclo di vita del prodotto, comprese le successive fasi di disassemblaggio per la sanificazione profonda (E14, R14.1, P14.1a) – estremamente intuitivo, lineare e accessibile anche a personale non tecnico.

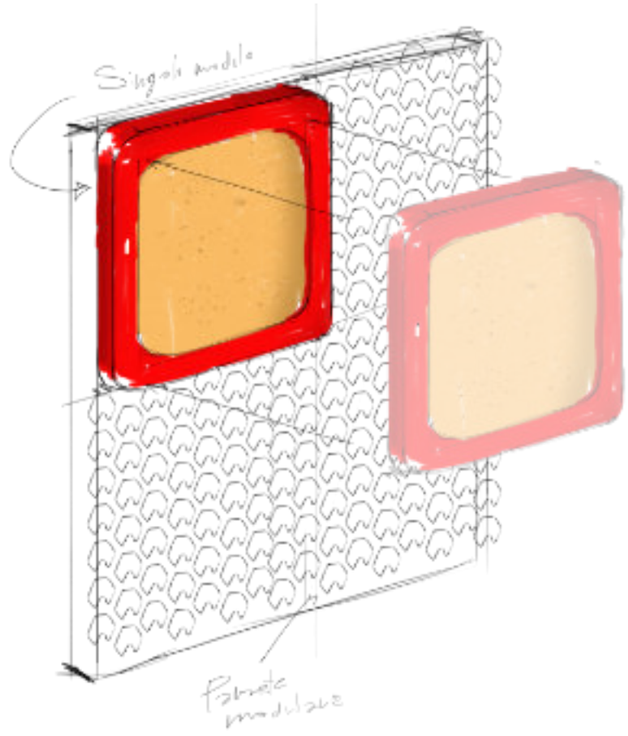


Figura 3. Schizzo metaprogettuale sullo studio dei moduli



Figura 4. Schizzo metaprogettuale sulla trasportabilità del sistema



Figura 5. Schizzo metaprogettuale brugola con viti M3

La gestione e il controllo dei parametri ambientali sono affidati a un sistema IoT (Internet of Things) integrato (E1, R1.2), il quale si interfaccia con l'utente attraverso un display di dimensioni compatte collocato sulla scocca del dispositivo. Questo funge da centro di monitoraggio in tempo reale, restituendo all'operatore un quadro chiaro e immediato delle variabili termiche interne, con particolare riferimento ai tassi di umidità e ai gradienti di temperatura (E7, R7.1, P7.1a). L'interfaccia grafica non si limita alla diagnostica ambientale, ma esplicita lo stato di funzionamento dell'hardware, indicando in modo univoco quali piastre radianti del gruppo riscaldante siano attive in un determinato momento (E8, R8.1, P8.1a). Tale soluzione consente una verifica visiva immediata dell'efficienza energetica e della corretta distribuzione del calore nelle diverse zone della camera (P1.2a).

Oltre ai dati strettamente tecnici e strumentali, l'architettura informativa del sistema è progettata per supportare il personale sanitario nella gestione logistica e clinica della degenza (E17, R17.1, P17.1a). Sul display vengono infatti integrate e sintetizzate informazioni metadati cruciali relative al paziente ospitato, quali la specie o l'identificativo dell'animale attualmente in terapia e il tempo di permanenza all'interno della camera calda.

In linea con i principi del green design e dell'ottimizzazione logistica (E16, R16.1), l'intero oggetto è ingegnerizzato secondo una logica di totale disassemblabilità (P16.1a), che ne consente il perfetto posizionamento all'interno di un imballaggio di dimensioni estremamente ridotte. Questa crea un impatto fortemente positivo sul ciclo di vita del prodotto, con particolare riferimento alle fasi di distribuzione e stoccaggio. Sotto il profilo dei trasporti, la drastica riduzione dell'ingombro geometrico permette di massimizzare l'efficienza di carico dei vettori, riducendo proporzionalmente i consumi energetici, le emissioni di gas serra e i costi vivi di spedizione per singola unità. Parallelamente, la configurazione salvaspazio offre un vantaggio strategico fondamentale per la gestione interna delle associazioni e dei centri di recupero della fauna selvatica. Tali realtà, sono caratterizzate da vincoli spaziali stringenti, necessitano di attrezzature che possano essere rimosse e immagazzinate nei periodi di inattività senza saturare i volumi utili dei laboratori.



Figura 6. Schizzo metaprogettuale › schermo informativo della camera calda



Figura 7. Schizzo metaprogettuale › trasportabilità del sistema

La versatilità d'uso e l'adattabilità del dispositivo trovano un riscontro nella configurazione del suo basamento, il quale viene equipaggiato con un sistema di piedini di supporto regolabili (E15, R15.1). Questa soluzione risponde alla necessità di garantire la perfetta stabilità e funzionale dell'oggetto indipendentemente dalle caratteristiche specifiche della superficie su cui viene collocato. All'interno dei laboratori clinici o delle strutture di soccorso, le superfici di appoggio possono presentare irregolarità o inclinazioni che rischierebbero di compromettere il corretto livellamento della camera calda e, di conseguenza, l'omogeneità dei flussi interni o il comfort dell'animale in degenza. Attraverso la regolazione micrometrica dei singoli punti di appoggio (P15.1a), l'operatore è in grado di compensare agevolmente i dislivelli del piano, rendendo il posizionamento dell'oggetto del tutto svincolato da rigidi requisiti ambientali. Tale flessibilità d'installazione amplia la libertà di allocazione della camera calda, consentendone l'integrazione sicura su banchi da lavoro, scaffalature o superfici improvvisate in caso di emergenza.

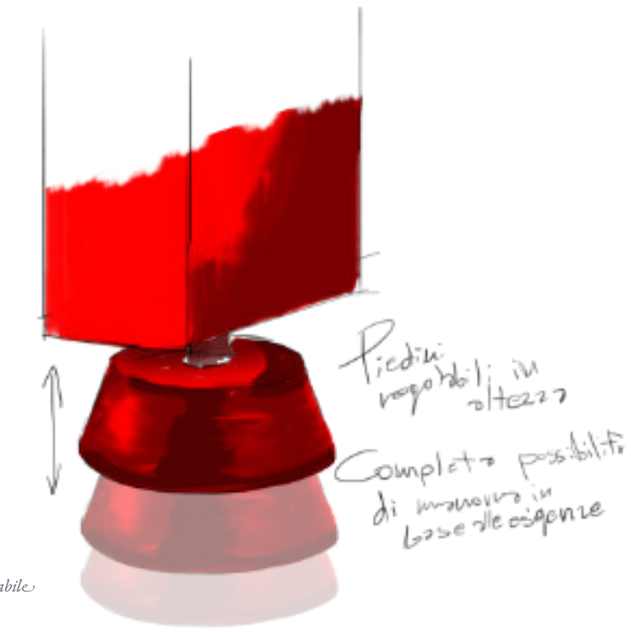


Figura 8. Schizzo metaprogettuale piedino regolabile

06
Tecnologia FDM nel processo di Design

Nella redazione del sistema esigenziale-prestazionale (Cap. 5) è emersa la tecnologia di stampa 3D come requisito prioritario, in risposta alle esigenze di rapidità produttiva e reperibilità dei componenti.

Questa scelta impone tuttavia un'analisi approfondita della tecnologia stessa, condizione necessaria per comprenderne i limiti applicativi e calibrarne l'impiego al contesto specifico del progetto. Il presente capitolo affronta quindi la tecnologia FDM come fulcro produttivo dell'intero sistema, esaminando principi di funzionamento, vantaggi, svantaggi e criticità operative, fino alla selezione motivata del materiale da impiegare per la realizzazione del prototipo.

6.1 - Definizione della Tecnologia FDM

La tecnologia FDM (o FFF, Fused Filament Fabrication) appartiene alla categoria Material Extrusion brevettata alla fine degli anni Ottanta da S. Scott Crump e commercializzata da Stratasys *(Crump, 1992)*. Essa permette la fabbricazione di oggetti tridimensionali estrudendo un filamento termoplastico riscaldato deposto strato su strato (layer) *(Wickramasinghe et al., 2020)*.

In chiave di sviluppo prodotto, l'adozione dell'FDM garantisce un drastico abbattimento dei tempi di prototipazione rapida, una spiccata flessibilità progettuale (grazie all'uso di strutture di supporto per la gestione di forme complesse e sottosquadri) e l'eliminazione dei costi di attrezzaggio tipici delle tecnologie sottrattive tradizionali o dello stampaggio a iniezione *(Protolabs, 2026)*. Ciononostante, il processo di deposizione sequenziale impone vincoli strutturali e geometrici rigidi che guidano la modellazione 3D del pezzo.

6.2 - Anisotropia meccanica e orientamento dei layer

La natura stratificata dei componenti realizzati comporta un'elevata anisotropia. Nel piano XY, lungo i filamenti depositati, il pezzo resiste a sollecitazioni notevoli; lungo Z, perpendicolarmente ai layer, la resistenza è governata dalla sola adesione interstrato e cala drasticamente, con rischio di delaminazione. *(Protolabs, 2024; Wickramasinghe et al., 2020)*

Per questo motivo, in fase di progettazione è stato fondamentale adottare alcuni accorgimenti pratici, garantendo elementi solidi e affidabili anche per un uso intenso:

· Orientamento di perni e forme allungate: le sezioni con uno

spessore inferiore agli 0,8 mm rischiano di risultare molto fragili se stampate con i layer paralleli al piano di lavoro. È stato quindi necessario orientare i componenti in funzione delle forze che dovranno sopportare.

· Geometria delle giunzioni: oltre al corretto orientamento dei layer, è stato essenziale evitare gli spigoli vivi, sostituendoli con raccordi ampi per distribuire meglio gli sforzi ed eliminare i punti di intaglio.

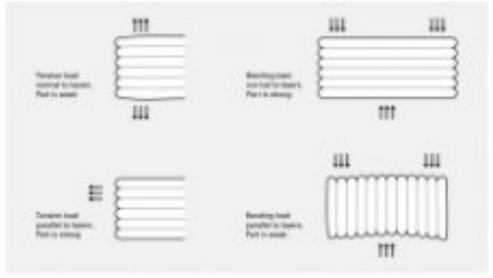


Figura 9. L'orientamento dei layer e l'influenza delle proprietà meccaniche (Protolabs, 2024)

6.3 - Warping, Ritiro termico e Definizione delle tolleranze dimensionali

Le tolleranze dimensionali della tecnologia FDM (0,1-0,2 mm) sono superiori (oppure: nettamente meno stringenti / peggiori) rispetto alle tolleranze delle lavorazioni tradizionali. Questo è dovuto principalmente alla differenza termica tra il materiale stampato dall'ugello e l'ambiente di stampa, che genera ritiri dimensionali responsabili del fenomeno del warping (sollevamento dei bordi dal piano di stampa). È di fondamentale importanza riuscire a minimizzare questo fenomeno affinché non vengano compromessi gli accoppiamenti meccanici. Si è intervenuti quindi a livello di impostazioni di stampa e di accortezze durante la modellazione: le sedi e i fori destinati a ospitare magneti e inserti sono stati modellati prevedendo uno scostamento delle misure di +-0,1 mm. Questi valori sono sufficienti a compensare sia le espansioni trasversali sia le tolleranze di macchina. Si è deciso, come previsto per la macchina utilizzata, di sfruttare il piatto riscaldato durante la stampa per garantire l'adesione a caldo del pezzo e il successivo rilascio spontaneo a freddo a seguito del raffreddamento del piatto stesso *(Alsoufi & Elsayed, 2017)*.

6.4 - Rugosità superficiale

A livello superficiale la deposizione di strati di filamento genera una superficie con rugosità visibile ed è addirittura possibile individuare i vari gradini ad occhio nudo. La visibilità dei layer è direttamente proporzionale alla loro altezza.

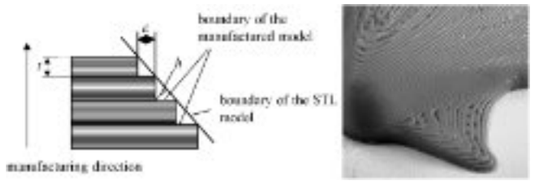


Figura 10. Visibilità dei layer in relazione al modello tridimensionale (Kuczko et al., 2017)

Come mostrato nel Capitolo 5 relativo al quadro esigenziale-prestazionale, la finitura superficiale deve garantire la piena sterilizzabilità e igienizzabilità del componente. Le microfessurazioni tra i layer potrebbero infatti risultare critiche per quanto riguarda l'accumulo di sporco e la proliferazione batterica.

Per minimizzare queste criticità, è possibile evitare geometrie caratterizzate da un andamento prevalentemente orizzontale dei layer, prediligendo pareti verticali così da ridurre l'effetto stair-stepping (scalettatura).

6.5 - Selezione del materiale

É stato necessario riuscire a scegliere il giusto materiale che fosse resistente a sollecitazioni meccaniche e chimiche. In base alle esigenze del prototipo (resistenza agli urti, stabilità dimensionale negli accoppiamenti e lavabilità), è stata effettuata una selezione comparativa tra i principali materiali da stampa FDM *(Adams et al., 1993; Haque, 2020; Plamadiala et al., 2025):*

Polimero	Vantaggi di Progetto	Limiti Tecnologici FDM	Destinazione d'uso
PLA	Facile stampabilità, rigidezza elevata, ottima rigidità.	Bassa resistenza termica e fragilità all'urto.	Prototipazione concettuale di forma.
PETG	Elevata resistenza meccanica, stabilità chimica, ottima adesione strato-strato.	Tendenza a creare fasci (stringing), umidità ricorrente assorbimento.	Prototipo finale del modello.
ABS / ASA	Alta resistenza all'impatto e alla temperatura, facilità di carteggiatura.	Elevato ritiro termico, alto rischio warping, richiede camera calda.	Scartato per criticità di processo in-house.

07
Sviluppo proposta

Definite quelle che sono le esigenze e le prestazioni di cui al Capitolo 5, il progetto entra ora nella fase di ideazione formale. Questo momento rappresenta la transizione in cui lo studio teorico e i vincoli prestabiliti si traducono in soluzioni estetiche e funzionali concrete, dando vita alla veste visiva del prodotto attraverso la redazione dei primi concept di design.

7.1 - Identità del prodotto

L'identità del prodotto a questo punto dello studio non lascia spazio all'immaginazione. La camera calda nel concreto deve assolvere ad una sola funzione e che sia svolta in completa sicurezza ovvero, tenere al caldo i piccoli animali che verranno posti all'interno. [E8 · R8.1 · P8.1a] [E7 · R7.1 · P7.1a] Sarà quindi dotata di un ambiente principale accessibile dagli operatori e sfruttato dagli animali. [E3 · R3.1 · P3.1a] Un secondo "ambiente", separato dal primo, che riguarda tutte quelle attività di manutenzione legate all'elettronica e al sistema IoT integrato. [E7 · R7.2 · P7.2a] [E14 · R14.1 · P14.1a]

7.1.1. - Ambiente principale: area di degenza

Il cuore pulsante del progetto è la camera di degenza, uno spazio progettato esclusivamente per l'alloggio e la cura degli animali. La struttura presenta una geometria cubica essenziale, studiata per ottimizzare al massimo il volume utile interno. [E5 · R5.1 · P5.1a] Il sistema di termoregolazione si articola su tre lati: le pareti laterali (destra e sinistra) e quella posteriore integrano un circuito di riscaldamento radiante per le terapie di cura degli animali. [E8 · R8.1 · P8.1a] I tappetini riscaldanti sono separati dall'ambiente interno. [E7 · R7.2 · P7.2a] [E10 · R10.1 · P10.1a] Le pareti interne sono inoltre dotate di un sistema modulare a incastro: una rete di griglie configurabili su cui è possibile agganciare supporti e accessori specifici. [E4 · R4.1 · P4.1a] Questa flessibilità permette di allestire e personalizzare l'ambiente in base alle precise esigenze della specie ospitata. [E9 · R9.1 · P9.1a]

7.1.2. - Analisi dei requisiti biologici e di sicurezza

La progettazione delle forme della camera calda risponde ai protocolli di biosicurezza e finalizzati a garantire la salute degli ospiti e a facilitare le operazioni di igienizzazione da parte degli operatori. [E14 · R14.1 · P14.1a] [E10 · R10.1 · P10.1a] A tal fine l'oggetto segue alcuni aspetti fondamentali:

Gestione dei reflui e sanificazione dei componenti

I piccoli animali in degenza producono costantemente deiezioni e residui organici potenziali portatori di infezioni batteriche e virali capaci di compromettere la salute di soggetti già debilitati. [E10 · R10.1 · P10.1a] Per questo abbiamo progettato:

Sistema a vassoio estraibile: la parete inferiore della camera calda integra una serie di guide geometriche progettate per l'alloggiamento di un vassoio realizzato in polimero plastico e laserato. [E10 · R10.1 · P10.1a] [E4 · R4.1 · P4.1a] Questo componente potrà essere quindi sfilato con semplicità, lavato, sterilizzato e riposizionato facilmente [E14 · R14.1 · P14.1a], riducendo al minimo il tempo di stress a cui può essere sottoposto l'animale. [E11 · R11.1 · P11.1a]

Disassemblaggio totale: tutti i componenti strutturali interni all'area di degenza sono stati studiati per essere completamente smontabili. [E6 · R6.1 · P6.1a] Questa modularità impedisce l'accumulo di sporco nei punti di giunzione e consente una pulizia profonda di ogni singola parte. [E14 · R14.1 · P14.1a] [E16 · R16.1 · P16.1a]

7.1.3 - Schizzi preliminari

La transizione dei requisiti teorici trova la sua espressione nella fase di concept sketching. Gli schizzi preliminari non rappresentano un mero esercizio estetico bensì uno strumento metodologico per esplorare, verificare e sintetizzare tutti i vincoli progettuali descritti nei capitoli precedenti.

Attraverso gli schizzi di progetto è stato possibile:

· Tradurre le esigenze funzionali in volumi concreti: visualizzare la disposizione spaziale dell'area di degenza, delle guide per il vassoio [E10 · R10.1 · P10.1a], dell'intercapedine delle pareti [E7 · R7.2 · P7.2a] e delle staffe che uniscono i vari pannelli perimetrali. [E6 · R6.1 · P6.1a] [E13 · R13.1 · P13.1a].

Valutare l'ergonomia d'uso: studio sull'accessibilità degli sportelli per gli operatori veterinari [E3 · R3.1 · P3.1a] [E5 · R5.2 · P5.2a] e l'ingombro visivo dell'interfaccia IoT. [E17 · R17.1 · P17.1a] [E1 · R1.2 · P1.2a]

· Sperimentazione configurazioni: prove di ottimizzazione degli spazi e diverse configurazioni rispetto all'animale ospitato all'interno [E9 · R9.1 · P9.1a] e alle disponibilità di spazio delle diverse esigenze da parte degli operatori. [E3 · R3.1 · P3.1a]

Le tavole riportare di seguito illustrano questo percorso ponendosi come ponte tra l'analisi esigenziale-prestazionale (Capitolo 5) e la successiva modellazione tridimensionale ed esecutiva (Capitoli 8 e 9).

Questo primo schizzo in prospettiva assonometrica illustra il concept della camera calda sviluppata sul modulo del cubo. Il disegno evidenzia l'esigenza dell'isolamento termico [E8 · R8.1 · P8.1a] [E7 · R7.1 · P7.1a] e la necessità di monitoraggio visivo costante [E1 · R1.1 · P1.1a] e la facilità di movimentazione del dispositivo. [E5 · R5.1 · P5.1a]

· Il pannello frontale è concepito per essere completamente trasparente, permettendo di monitorare in modo continuo l'interno della camera calda [E1 · R1.1 · P1.1a] senza generare sbalzi termici importanti e potenzialmente nocivi. [E7 · R7.1 · P7.1a] [E8 · R8.1 · P8.1a]

· Le pareti perimetrali interne hanno delle griglie con un pattern esagonale che si ripete, poste frontalmente alle rispettive tre pareti all'interno delle quali vi è la superficie riscaldante. [E8 · R8.1 · P8.1a] [E4 · R4.1 · P4.1a] [E9 · R9.1 · P9.1a]

· Maniglie laterali fissate al pannello per facilitare il sollevamento della parete trasparente [E5 · R5.2 · P5.2a] e facilitarne la pulizia dell'intero spazio. [E14 · R14.1 · P14.1a] [E3 · R3.1 · P3.1a]

Abbiamo voluto mantenere un certo contrasto tra gli elementi di giunzione e le pareti della camera: questo serve ad accentuare visivamente la presenza delle staffe e delle maniglie ma anche dei piedini, per una maggiore affordance visiva. [E17 · R17.1 · P17.1a] [E15 · R15.1 · P15.1a]

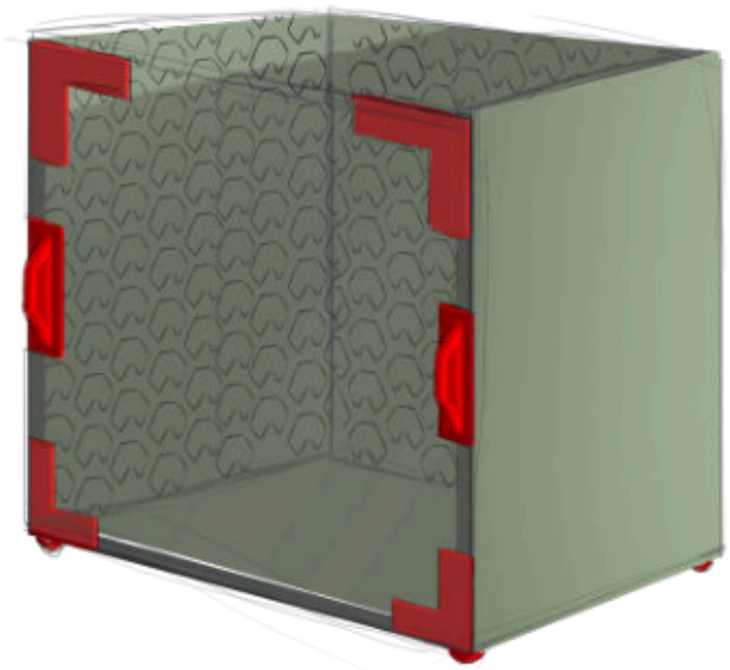


Figura 11. Schizzo progettuale dell'architettura della camera calda

Questo disegno illustra in maniera inequivocabile la struttura delle staffe di unione dei pannelli. L'elemento si configura come una staffa tridimensionale ad "L", strutturata attraverso l'integrazione ortogonale di tre staffe a "L" tradizionali. Le staffe, quindi, operano come nodo strutturale multidirezionale. [E12 · R12.1 · P12.1a] [E13 · R13.1 · P13.1a] Le alette provviste di fori passanti sono progettate per essere inserite all'interno delle intercapedini delle pareti [E7 · R7.2 · P7.2a] e servono come guide per le viti che verranno inserite al loro interno. [E4 · R4.1 · P4.1a]

La parte di staffa sprovvista di fori presenta unicamente una scanalatura circolare. Questa funge da alloggiamento per un magnete di piccole dimensioni rendendo possibile la rimozione e riposizionamento del pannello trasparente in maniera semplice e rapida [E2 · R2.1 · P2.1a] [E3 · R3.1 · P3.1a] [E6 · R6.1 · P6.1a], agevolando le operazioni di accesso, manutenzione e pulizia [E14 · R14.1 · P14.1a], senza compromettere il benessere animale. [E11 · R11.1 · P11.1a]

Questo schizzo illustra come abbiamo trovato la forma giusta per le griglie del nostro progetto. Partendo dal modulo dell'esagono siamo riusciti a migliorarlo tenendo conto di alcuni piccoli dettagli. È corretto dire che a livello geometrico l'esagono è la forma che più si addice a ricoprire superfici di dimensioni variabili e a creare dei moduli che si possano incastrare tra loro. [E4 · R4.1 · P4.1a] Per questa ragione abbiamo deciso di includere nella fase preliminare degli schizzi questa forma. Come si può evincere dal disegno nel centro dell'esagono è presente una piccola sporgenza che funge da guida e incastro per l'inserimento dei moduli all'interno. [E4 · R4.1 · P4.1a] [E9 · R9.1 · P9.1a]

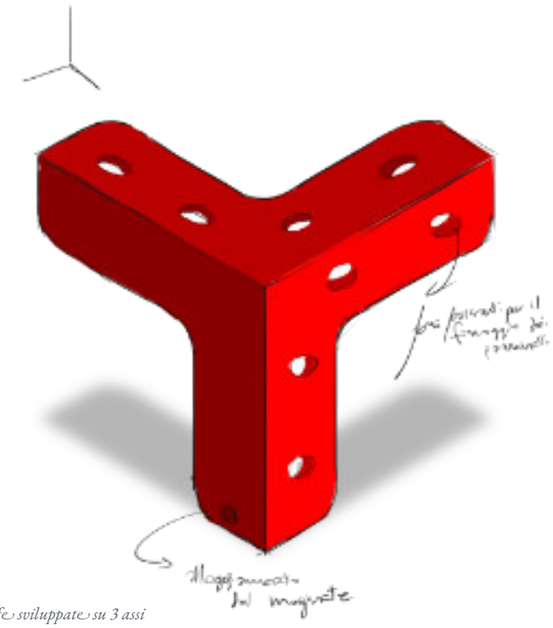


Figura 12. Schizzo progettuale delle staffe sviluppate su 3 assi

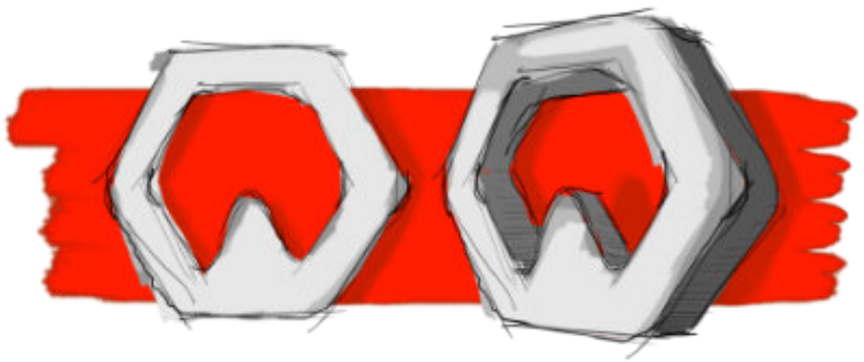


Figura 13. Schizzo progettuale del pattern dei frame, esagono modificato per l'inserimento dei pin

7.2 - Materiali

Dopo aver attenzionato gli aspetti positivi e le caratteristiche principali di questa tecnologia è bene capire quali materiali si possono stampare e quali sono quelli più comuni che troviamo sul mercato. Questo permette a noi progettisti di individuare le soluzioni migliori per il nostro progetto in particolare. (Tutto il paragrafo risponde in blocco a [E16 · R16.1 · P16.1a], polimeri 100% riciclabili PETG, HDPE, PMMA; assenza di incollaggi irreversibili.)

7.2.1 - Laminato in HDPE

Il polietilene ad alta densità (HDPE) è un polimero termoplastico semicristallino appartenente alla famiglia delle poliolefine, sintetizzato mediante la polimerizzazione dell'etilene attraverso catalizzatori *(William D. jr. Callister, David G. Rethwisch, s.d.)*. La struttura dell'HDPE è caratterizzata da catene polimeriche prevalentemente lineari con un ridotto numero di ramificazioni, ciò consente alle molecole di organizzarsi in modo ordinato, generando un elevato livello di cristallinità.

L'HDPE costituisce una scelta fondamentale per la realizzazione delle componenti di fondo, delle pareti strutturali e degli elementi soggetti a lavaggio frequente. A differenza dei materiali tradizionali, come i metalli, che risultano pesanti e costosi e sono soggetti a corrosione, il polietilene offre una totale inerzia chimica.

Un aspetto fondamentale che caratterizza l'HDPE risiede nelle sue proprietà superficiali: la matrice poliolefinica non polare conferisce al materiale un'elevata idrofobicità e una bassa energia superficiale. Tale combinazione riduce drasticamente la bagnabilità e l'adesione di contaminanti sia liquidi che solidi. La struttura semicristallina garantisce inoltre una superficie non porosa con un tasso di assorbimento d'acqua pressoché nullo (inferiore allo 0,01% secondo la norma ISO 62), impedendo la ritenzione di fluidi organici, batteri o agenti patogeni all'interno della matrice plastica *(Andrew Peacock, 2000)*.

Le principali proprietà chimico-fisiche e meccaniche dell'HDPE sono riassunte di seguito:

· Densità: Circa 0,95 g/cm3 (materiale leggero, in grado di galleggiare sull'acqua).

· Resistenza alla trazione allo snervamento: Compresa tra 22 e 30 MPa.

· Modulo elastico a trazione: Compreso tra 800 e 1.200 MPa (elevata flessibilità strutturale e capacità di assorbire energia).

· Resistenza all'impatto Charpy: Nessuna rottura fragile a temperatura ambiente (elevatissima tenacità).

· Assorbimento d'acqua: Inferiore allo 0,01%.

· Temperatura di fusione: Compresa tra 130 e 135 °C.

· Temperatura di deflessione termica (HDT a 0,45 MPa): Compresa tra 65 e 75 °C.

· Resistenza chimica: Eccellente verso acidi, basi, alcol e sali; limitata verso idrocarburi aromatici o alogenati a lungo termine *(Andrew Peacock, 2000)*.

Dallo studio del comportamento dell'HDPE emergono i principali elementi di vantaggio:

· Eccellente resistenza chimica e inassorbenza: Non assorbe l'umidità e resiste alla quasi totalità degli agenti chimici e sanificanti industriali senza degradarsi.

· Elevata tenacità e resistenza agli urti: Mostra un comportamento duttile e non fragile anche a basse temperature (fino a -40 °C), garantendo la protezione dell'involucro contro impatti meccanici accidentali.

· Igiene e facilità di decontaminazione: La superficie idrofoba a bassa energia impedisce l'adesione dello sporco e la formazione di biofilm batterici, facilitando le operazioni di pulizia.

· Lavorabilità meccanica: Risulta facilmente lavorabile mediante fresatura CNC.

In merito agli elementi di svantaggio e alle criticità di processo, si evidenzia quanto segue:

· Basso modulo elastico rispetto ad altri polimeri tecnici: Richiede spessori maggiorati o nervature di rinforzo per evitare deformazioni flessionali sotto carichi pesanti continui.

· Elevato coefficiente di dilatazione termica lineare: Risente dei cambi di temperatura ambiente, richiedendo adeguate tolleranze dimensionali nei punti di vincolo e di serraggio meccanico.

· Difficoltà di incollaggio superficiale: A causa della sua bassa energia superficiale, l'HDPE non può essere incollato con i comuni adesivi solventi o epossidici senza preventivi trattamenti superficiali di attivazione (fiammatura o trattamento plasma), rendendo necessaria la giunzione meccanica o la saldatura termica.

· Sensibilità ai raggi UV non stabilizzati: Se non additivato con nerofumo o stabilizzanti UV, l'HDPE esposto prolungatamente alla luce solare diretta può subire foto-ossidazione con infragilimento superficiale.

L'HDPE presenta un elevata idrofobicità e una bassa energia superficiale, il che riduce l'adesione di contaminanti liquidi o solidi. A differenza di materiali metallici costosi, o facilmente corrodibili, la struttura polimerica semicristallina dell'HDPE garantisce una superficie non assorbente, con un tasso di assorbimento quasi nullo.

Ciò consente l'impiego continuativo di lavaggi ad alta pressione, vapore e protocolli di sanificazione aggressivi, senza incorrere nella degradazione del materiale o rilascio di sostanze nocive.

La scelta dello spessore del materiale risponde a un'esigenza duplice:

· Stabilità formale e planarità: uno spessore inferiore a 3mm risulterebbe troppo flessibile, soggetto ad imbozzamento o deformazioni termo-meccaniche. Il taglio da 5 mm assicura la planarità delle pareti durante l'utilizzo.

· Resistenza dell'impatto: garantisce un elevata resilienza proteggendo l'interno da urti accidentali durante le fasi di carico, scarico o manutenzione *(Andrew Peacock, 2000)*.

7.2.2 - Polimetilmetacrilato PMMA

Il PMMA è un polimero termoplastico trasparente ottenuto dalla polimerizzazione del monomero metilmetacrilato (MMA). Questo è conosciuto comunemente con marchi commerciali come Plexiglass®, Perspex® o Acrylite®.

Si tratta di un "vetro organico": rispetto al vetro normale, il PMMA ha un peso specifico ridotto della metà (=1,19 g/cm)^3.

La produzione di questi pannelli avviene attraverso due processi industriali distinti:

· Colata per colata o tra piastre (Cell Cast PMMA), il monomero liquido viene miscelato con catalizzatori viene versato all'interno di uno stampo formato da due lastre di vetro temperato sigillate ai bordi da una guarnizione. Lo stampo viene poi scaldato in forno per avviare la polimerizzazione. L'elevato peso molecolare del materiale ottenuto da questa lavorazione viene preferito per la sua elevata qualità ottica, migliore resistenza chimica e meccanica.

· Estrusione, granuli di PMMA già polimerizzati vengono fusi a circa 200-250°C e spinti in modo continuo tramite vite senza fine attraverso una filiera rettilinea che passa poi l di sotto di rulli calandrati che ne definiscono lo spessore.

Le principali proprietà chimico-fisiche e meccaniche del PMMA per la produzione di componenti rigidi sono descritte di seguito:

· Densità: Circa 1,19 g/cm3 (circa la metà del vetro tradizionale).

· Resistenza alla trazione: Compresa tra 65 e 80 MPa.

· Modulo elastico a trazione: Circa 3.000-3.300 MPa (elevata rigidità flessionale).

· Resistenza alla flessione: Compresa tra 90 e 110 MPa.

· Temperatura di transizione vetrosa (Tg): Circa 105 °C.

· Temperatura di deflessione termica (HDT a 0,45 MPa): Circa 95-100 °C.

· Trasparenza ottica: Trasmissione luminosa del 92%, con un indice di rifrazione di 1,49.

· Processabilità: Sublimazione termica ottimale sotto fascio di laser CO2 e facilità di fresatura CNC *(PLEXIGLAS®, 2025)*.

Dallo studio del comportamento del PMMA sono emerse precise caratteristiche positive e negative; di seguito si esaminano, anzitutto, i principali elementi di vantaggio:

· Trasparenza e qualità ottica superiore: Garantisce una visibilità cristallina, fattore indispensabile per il costante monitoraggio.

· Elevata rigidità e stabilità dimensionale: presenta un modulo elastico nettamente superiore a quello di PLA e PETG, il PMMA garantendo una flesso-inflessione minima anche sotto carichi statici continui.

· Resistenza agli agenti atmosferici e raggi UV: A differenza di altri polimeri trasparenti (come il policarbonato o lo stirene), il PMMA possiede un'inerzia naturale all'azione dei raggi ultravioletti; non ingiallisce e non subisce degradazione molecolare se esposto a luce continua o all'umidità per lunghi periodi.

· Qualità di finitura e tagli laser puliti: Il taglio termico sublima istantaneamente il polimero, restituendo contorni specchiati ed eliminando la necessità di ulteriori fasi di sbavatura o lucidatura meccanica *(Muhammad Basha Ahmed Khoshaim, 2021)*.

In merito agli elementi di svantaggio e alle criticità di processo, si evidenzia quanto segue:

· Inclinazione alla rottura fragile (fragilità all'impatto): Pur essendo da 10 a 17 volte più resistente del vetro, il PMMA presenta una tenacità all'intaglio ridotta rispetto al PETG. Se sottoposto a forti urti concentrati o a sollecitazioni d'impatto repentine, manifesta una frattura di tipo fragile.

· Scarsa resistenza ai graffi (bassa durezza superficiale): La durezza della superficie è limitata; la pulizia ripetuta o il contatto occasionale con elementi abrasivi o con le unghie/artigli degli animali può provocare micro-scalfitture opacizzanti.

· Criticità nel serraggio meccanico: Durante la foratura o la fase di avvitamento delle staffe con viti metalliche, la concentrazione degli sforzi attorno ai fori può causare cricche o spaccature radiali se non si impiegano guarnizioni di disaccoppiamento in gomma.

La selezione del materiale per la realizzazione delle pareti trasparenti è nata dalla necessità di coniugare le elevate prestazioni ottiche, resistenza meccanica e lavorabilità. Tra i diversi polimeri termoplastici analizzati, la scelta si è focalizzata sul polimetilmetacrilato (PMMA), comunemente noto come vetro acrilico.

Dal punto di vista ottico, il PMMA ha un indice di trasmissione della luce superiore al 92%, assicurando una trasparenza fondamentale per il controllo degli animali. Questo materiale offre anche ottime proprietà meccaniche e resistenza agli urti e agli agenti esterni, garantendo la durabilità strutturale dei pannelli nel tempo. Il PMMA permette di essere lavorato tramite taglio laser e di tagliare ad alta precisione forme anche molto complesse. Il processo garantisce inoltre finiture superficiali perfettamente levigate e lucide lungo i bordi di taglio, ottimizzando i tempi di fabbricazione ed evitando successive operazioni di lucidatura *(Muhammad Basha Ahmed Khoshaim, 2021)*.

7.2.3 - PETG (Polietilene Tereftalato Glicole)

Il polietilene tereftalato glicole viene prodotto a partire dal PET (polietilene tereftalato), ovvero la resina polimerica termoplastica più comune appartenente alla famiglia dei poliesteri ed è utilizzato in forma di fibre per l'industria tessile, sotto forma di contenitori per liquidi e alimenti, viene termoformato per creare oggetti e combinato con fibra di vetro per creare resine utilizzate in ambito ingegneristico.

Il PET viene spesso copolimerizzato con dioli e diacidi per ottimizzarne le caratteristiche in base a specifiche applicazioni.

È proprio questo il caso del cicloesano dimetanolo (CHDM) può essere integrato nello scheletro polimerico a sostituire una parte del glicole etilenico. L'unità strutturale sostituita è notevolmente più grande rispetto all'unità di glicole etilenico presente in precedenza. Questa, di conseguenza, non si adatta alla disposizione delle catene adiacenti, interferendo con il processo di cristallizzazione riducendo la temperatura di fusione del polimero. Questa tipologia di PET è nota come PETG o PET-G (polietilene tereftalato glicole-modificato). Si tratta di un termoplastico amorfo e trasparente che può essere stampato a iniezione (grazie all'abbassamento della temperatura di fusione), estruso in lastre o estruso sotto forma di filamento per la stampa 3D. Il PETG può inoltre essere colorato durante la fase di lavorazione *(Olabisi & Adewale, 2016, 71-74)*.

Anche il PETG fa parte dei materiali più utilizzati nella tecnologia FDM, questo perché offre delle qualità in campo di resistenza e rigidezza maggiori rispetto al PLA mantenendo comunque una facilità di stampa adatta anche ai meno esperti.

Le principali proprietà chimico-fisiche e meccaniche del PETG sono descritte di seguito:

· Resistenza alla trazione: Circa 50 MPa.

· Modulo elastico a trazione: Circa 2.020 MPa.

· Resistenza alla flessione: Vicina ai 69 MPa.

· Resistenza all'impatto: capacità di gestire moderati stress meccanici senza cedere.

· Temperatura di stampa raccomandata: compresa tra 220 e 260 °C.

· Temperatura del piatto di stampa (bed): compresa tra 65 e 90 °C.

· Temperatura di deflessione termica (HDT): circa 70 °C (158 °F), un valore più alto rispetto al PLA ma inferiore rispetto all'ABS.

· Comportamento al calore: soggetto ad ammorbidimento se esposto a calore continuo o a livelli di stress elevati.

· Trasparenza ottica: nella sua versione naturale è trasparente e presenta una bassa opacità.

· Origine chimica delle proprietà: tutte le caratteristiche elencate derivano direttamente dalla sua struttura molecolare modellata dalla modifica con glicole *(Raise3D, 2026)*.

Per stampare con il filamento di PETG è necessario essere dotati di una macchina in grado di raggiungere temperature più alte come si è analizzato nei paragrafi precedenti. Si parla infatti di temperature che superano i 200°C dell'ugello e una temperatura del piatto che supera i 60°C. Questi parametri permettono di avere una qualità di stampa maggiore e un'adesione tra i layer che a temperature più basse rischierebbe di compromettere la stabilità dell'oggetto stampato.

Dallo studio del comportamento del PETG emergono precise caratteristiche positive e negative; di seguito si esaminano, anzitutto, i principali elementi di vantaggio:

· Resistenza all'impatto e tenacità: ha eccellenti proprietà meccaniche; a differenza del PLA che è rigido ma fragile, il PETG è tenace e ha una leggera flessibilità che gli permette di assorbire gli urti senza spezzarsi improvvisamente.

· Resistenza termica e uso esterno: offre un'ottima resistenza agli agenti atmosferici e ai raggi UV, abbinata a una temperatura di deflessione termica superiore al PLA (circa 68-70 °C).

· Facilità di stampa e stabilità: presenta una grandissima stabilità dimensionale con un restringimento termico minimo; questo riduce quasi a zero il rischio di deformazione (warping) e distacco degli angoli dal piatto, senza richiedere una camera di stampa chiusa.

· Resistenza chimica e trasparenza: vanta un'elevata resistenza ad acidi, alcali e solventi, ed è intrinsecamente trasparente nella sua forma nativa non colorata *(Prusa Polymers a.s., 2022)*.

In merito agli elementi di svantaggio e alle criticità di processo, si evidenzia quanto segue:

· Propensione allo stringing: è un materiale particolarmente incline all'oozing (colatura) e allo stringing (creazione di fili sottili) durante i movimenti a vuoto dell'ugello.

· Adesione distruttiva al piatto: ha una capacità di legame chimico talmente forte con alcune superfici di stampa che può danneggiarle o strapparne via delle porzioni.

· Elevata igroscopicità: assorbe l'umidità dall'aria molto rapidamente; se il filamento diventa umido, durante la stampa si generano bolle, fili e una drastica perdita di resistenza meccanica.

· Bassa resistenza ai graffi: pur essendo molto resistente agli impatti e strutturalmente robusto, ha una durezza superficiale limitata, il che lo rende incline a graffiarsi *(Prusa Polymers a.s., 2022)*.

Possiamo affermare in conclusione che il PETG rappresenti un eccellente punto di equilibrio tra l'essere un materiale facile da stampare con tecnologia FDM e al contempo molto resistente alle sollecitazioni meccaniche. Come analizzato per il raggiungimento di standard qualitativi alti è necessario avere delle temperature elevate durante il processo e competenze tecniche maggiori rispetto alla stampa ad esempio del PLA.

7.2.4 - Controparti riciclate e rPETG

Quando si parla di tecnologia FDM, viene tipicamente attribuito il valore di essere una lavorazione senza scarto, paragonata ad esempio alla tecnologia CNC che tramite esportazione genera dei trucioli come scarto.

In realtà tenendo conto di alcuni aspetti ci si rende conto che non è del tutto vero, prendiamo ad esempio la creazione di supporti e di Brim, utilizzati per sostenere le zone di sbalzo e evitare il distacco del componente durante la stampa, che a fine della lavorazione vengono rimossi per ottenere l'oggetto finito, ritrovandoci con grammi di filamento di scarto.

O come comunemente può avvenire, la presenza di errori di modellazione, errori durante la fase di slicing o fallimenti di stampa, sono tutte fonti di materiale di scarto non immediatamente recuperabile.

Come dimostra lo studio "Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study" condotto da Mohd Shuaib, Abid Haleem, Sanjay Kumar, Mohd Javaid, si stima che il 15-30% del filamento utilizzato per la stampa si trasformi in rifiuto ancora prima di abbandonare il laboratorio *(Shuaib et al., 2021)*. Questa grande quantità di rifiuti negli ultimi anni sta generando del profitto, diventando un bene primario per la creazione di filamento riciclato e oggetti con polimeri di recupero. Come attesta "Grand View Research" il business legato ai 3D Printing scraps cresce con un tasso del 12.8 % annuo, ciò dimostra che la mole di rifiuti plastici generati sta diventando un problema molto rilevante *(Grand View Research, 2026)*.

Tale problematica, decisamente rilevante, può essere attenuata grazie al riciclo e al conseguente riutilizzo di questi scarti. Partendo dai residui di plastica (printing scraps), è infatti possibile rigenerare il filamento attraverso processi più o meno complessi. Il processo di recupero si articola in quattro fasi distinte che consentono di riciclare il materiale sia su scala domestica sia a livello industriale, aprendo così la strada a start up e a progetti open-source di vario tipo. La prima tra queste riguarda la triturazione degli scarti che sminuzza la plastica fino a raggiungere la dimensione di piccole scaglie o granuli. Segue poi la fase di deumidificazione, che ha come obiettivo quello di rimuovere all'interno dei pezzi tutta l'umidità assorbita fino a quel momento e di conseguenza offrire un risultato migliore in termini di qualità. Il materiale essiccato viene estruso e forzato all'interno di un ugello calibrato di solito ad una dimensione che varia dai 1.75 mm fino ai 2 mm. Infine il materiale estruso viene fatto raffreddare e avvolto su bobine pronto per poter essere utilizzato per la stampa *(WASP, 2026)*.

Avendo precedentemente valutato il PETG come ottimo materiale per le sue il suo rapporto qualità-prezzo, comprendendo anche il suo ampio utilizzo tra gli utenti di stampa 3D, ci siamo posti il quesito su come sia la sua qualità post-riciclo.

Seguendo l'analisi "Sustainable Additive Manufacturing: Mechanical Response of Polyethylene Terephthalate Glycol over Multiple Recycling Processes" *(Vidakis et al., Materials, 2021)*, in cui il processo di riciclo è stato eseguito per 6 cicli (in cui un ciclo è composto da triturazione dei pezzi di scarto, deumidificazione, e estrusione in nuovo filamento) si è visto come il PETG mantiene le proprie caratteristiche di materiale amorfo anche dopo i cicli termici del riciclo, grazie al modificatore glicole. Questa peculiarità chimica rende il PETG intrinsecamente più adatto al riciclo termico rispetto ad altri poliesteri.

I dati riportati nella tabella seguente sono stati ricavati dai Technical Data Sheet ufficiali di Prusa Polymers per il filamento Prusament PETG Recycled e il filamento Prusament PETG vergine *(Prusa Polymers a.s., 2022a, 2022b)*.

La scelta di utilizzare lo stesso produttore per entrambi i campioni garantisce la piena comparabilità dei dati.

Proprietà	rPETG	PETG vergine
Densità	1,27 g/cm³	1,27 g/cm³
Resistenza allo snervamento [filamento]	45 ± 1 MPa	46 ± 1 MPa
Resistenza allo snervamento [stampato (dir. orizz.)]	43 ± 1,8 MPa	47 ± 2 MPa
Modulo elastico a trazione [stampato (dir. orizz.)]	1,5 ± 0,1 GPa	1,5 ± 0,1 GPa
Allungamento allo snervamento [stampato (dir. orizz.)]	4,5 ± 0,2 %	5,1 ± 0,1 %
Resistenza a flessione [stampato (dir. orizz.)]	63 ± 1 MPa	66 ± 2 MPa
Modulo a flessione [stampato (dir. orizz.)]	1,6 ± 0,1 GPa	1,7 ± 0,1 GPa
HDT (0,45 MPa)	68 °C	68 °C
Temperatura di stampa consigliata	250 ± 10 °C	250 ± 10 °C

Per quanto riguarda la resistenza allo snervamento dell'rPETG stampato (43 MPa)si evidenzia un calo di ±4 MPa una differenza tecnicamente trascurabile nella nostra condizione.

Il modulo elastico a trazione è identico in entrambe le varianti (1,5 ± 0,1 GPa), a indicare che la rigidezza del materiale non è compromessa dal processo di riciclo, questo dato è coerente con la ricerca analizzata precedentemente, in cui i valori di modulo elastico rimanevano pressoché stabili anche dopo differenti cicli di riciclo. *(Vidakis et al., Materials, 2021)*

Sempre dal medesimo studio emergono aspetti positivi e negativi nell'utilizzo dell'rPETG.

I punti di vantaggio

· Alcune proprietà meccaniche rimaste invariate: dopo il processo di riciclo è risultata una conservazione della resistenza a snervamento, modulo elastico, questo comportamento è spiegato dalla struttura molecolare del PETG, il cui modificatore glicole (CHDM) stabilizza il polimero durante i cicli termici.

· Assenza del warping e buona stabilità dimensionale: Come il PETG anche l'rPETG non manifesta uj ritiro termico significativo.

· Resistenza chimica conservata: L'rPETG mantiene la resistenza del PETG vergine ad acidi diluiti, alcali, oli e agenti atmosferici, rendendolo idoneo ad applicazioni funzionali in ambienti chimicamente aggressivi *(BigRep GmbH, BigRep rPETG — TDS, 2025)*.

· Semplicità di stampa: Le impostazioni di processo dell'rPETG sono identiche a quelle del PETG vergine (temperatura ugello, piatto, velocità), eliminando la necessità di ricalibrare la stampante al cambio materiale *(Prusa Polymers a.s., Prusament PETG Recycled — TDS, v1.0, 2022)*.

· Recupero di materiale che sarebbe stato scartato

Mentre i punti di svantaggio

· Riduzione della duttilità: Come osservato nella tabella, l'allungamento allo snervamento dell'rPETG è inferiore al vergine, con una tendenza a diminuire ulteriormente a ogni ciclo di riciclo successivo. Studi sperimentali documentano che la duttilità del PETG riciclato si riduce significativamente dopo il primo ciclo per i gradi a minore contenuto di CHDM, e dopo il secondo o terzo ciclo per i gradi a maggiore contenuto *(Vidakis et al., Materials, 2021)*. Questo dato deve essere considerato in sede progettuale quando il componente è soggetto a carichi dinamici o a deformazione ciclica.

· Elevata igroscopicità e necessità di pre-essiccazione: Il filamento rPETG assorbe umidità dall'ambiente in modo rapido. La presenza di umidità residua nel filamento durante l'estrusione genera microbolle e discontinuità nei layer, con conseguente deterioramento delle proprietà meccaniche e della qualità superficiale. *(Prusa Polymers a.s., Prusament PETG Recycled — TDS, v1.0, 2022)*.

· Disponibilità limitata e variabilità del materiale grezzo: A differenza dei filamenti vergini, la disponibilità dell'rPETG è soggetta alla disponibilità degli scarti post-industriali da cui viene prodotto.

In conclusione, l'rPETG si distingue dagli altri filamenti riciclati analizzati in questo capitolo per la straordinaria stabilità delle sue proprietà meccaniche e termiche rispetto al materiale vergine. La riduzione della duttilità a cicli di riciclo ripetuti rimane la criticità principale da tenere in considerazione in sede di progettazione, orientando l'utilizzo dell'rPETG verso applicazioni con carichi prevalentemente statici piuttosto che dinamici.

7.3 - Elettronica

Il comparto elettronico deve permettere un controllo totale delle funzioni e componenti integrati nella camera calda.

Per permettere questo controllo è fondamentale l'utilizzo di un microcontrollore. Nello studio e scelta dei componenti del sistema, è stato tenuto conto del sistema esigenziale prestazionale, tra cui i punti:

1. Sensore di temperatura
2. Nell'apertura degli accessi, il microcontrollore rileva la variazione termica
3. Regolazione umidità
4. Sistema di sicurezza che impedisce l'eccessivo innalzamento della temperatura
5. Componenti elettrici resistenti agli schizzi e all'acqua.

La sicurezza elettrica rappresenta un vincolo progettuale molto importante, soprattutto in presenza di un essere vivente all'interno delle camere durante l'accensione:

· Scocca a doppia parete, per proteggere la parte hardware, la struttura perimetrale del dispositivo sfrutta l'accoppiamento dei pannelli, ottenendo un'intercapedine interna. La componentistica verrà inserita all'interno di quest'ultima e poi sigillata tramite viti angolari, in modo tale da chiudere il tutto ma anche di poter accedervi qualora ce ne fosse il bisogno.

· Barriera anti-umidità, questa soluzione crea una separazione fisica tra i due volumi. L'umidità controllata generata all'interno della camera o l'accidentale versamento di liquidi non possono in alcun modo penetrare nel vano tecnico andando ad eliminare il rischio di cortocircuiti, ossidazione dei contatti o malfunzionamenti del sistema di controllo.

Di seguito provvediamo ad elencare le varie componenti e le rispettive caratteristiche approfondendo ciò che abbiamo utilizzato per il nostro dispositivo:

Arduino Nano ESP-32[E1 · R1.2 · P1.2a] [E17 · R17.1 · P17.1a] *[Fig. 14]*

Questo componente hardware è il perfetto alleato per un progetto che abbia una componente IoT. In primis per la potenza di calcolo e poi per le ridotte dimensioni. Parliamo infatti di soli 18x45mm che supportano l'inserimento di un cavo per la trasmissione dei dati di tipo USB C. La sua potenza deriva dall'unione dell'esperienza della linea Nano di Arduino con il potente chip ESP32-S3 di Espressif. All'interno della scheda è presente un processore dual-core a 32 bit capace di raggiungere una frequenza di clock (indica quanti cicli di calcolo al secondo il processore può eseguire ed è misurata in Hertz (Hz)) fino a 240MHz: Rispetto ai tradizionali microcontrollori a 8 bit, questo incremento permette di gestire direttamente sul dispositivo l'elaborazione di dati proveniente da sensori o piccoli modelli di machine learning. L'Arduino Nano è dotato anche di connettività al Wi-Fi a 2.4 GHz e Bluetooth 5 (BLE) integrati nativamente e senza la necessità di integrare moduli aggiuntivi.

Una delle caratteristiche più distintive della scheda è il supporto per molteplici ambienti di programmazione:

Arduino C/C++: Perfettamente integrata nell'Arduino IDE, garantisce l'accesso a migliaia di librerie già esistenti.

Arduino IoT Cloud: Si collega in pochi passaggi alla piattaforma cloud di Arduino per creare dashboard di controllo da remoto accessibili anche da smartphone.

I suoi pin offrono inoltre una funzionalità unica: la doppia mappatura. È possibile configurare l'IDE per fare riferimento ai pin usando la classica nomenclatura Arduino oppure la numerazione nativa dei GPIO di ESP32, garantendo la massima flessibilità di integrazione.

Breakout Board della Freenove Universal (mod. FNK0101) - [E7 · R7.2 · P7.2a] [E12 · R12.1 · P12.1a]*[Fig.15]*

Per il collegamento fisico tra il microcontrollore Arduino Nano ESP32 e i componenti del sistema (sonde di temperatura, sensore di umidità, relè di potenza per i tappetini riscaldanti, ecc....), è stata adottata la Freenove Universal Breakout Board (mod. FNK0101).La scelta di questa scheda ha un duplice fine, in primis di supporto all'alimentazione dell'intero circuito, la seconda è la possibilità di connettere la maggior parte dei terminali tramite una comoda morsettiera. Infatti, il Nano ESP-32 non dispone di un'uscita a 5V, ma nel nostro sistema è necessario per alimentare i relè e per il sensore Gas MICS-6814. La breakout board è in grado di fornire 2 differenti rail autonomi a cui si può selezionare una tensione di 3.3 o 5V tramite 2 Jumper forniti in dotazione.

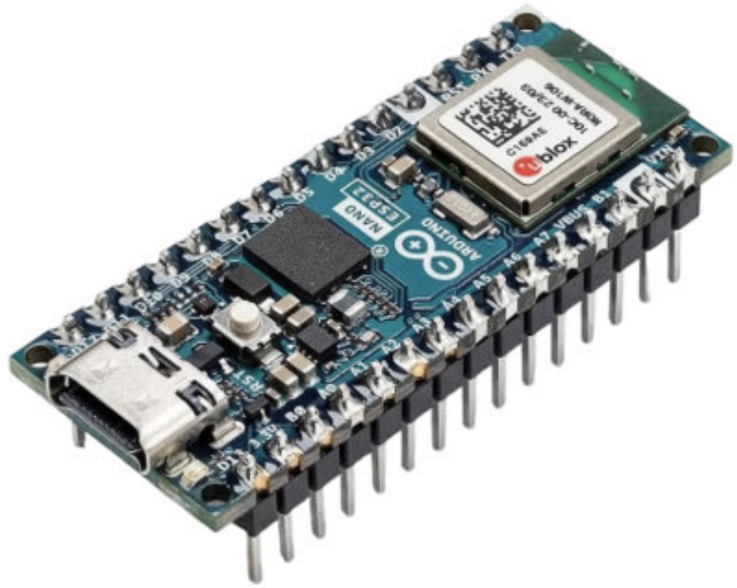


Figura 14. Arduino nano ESP-32

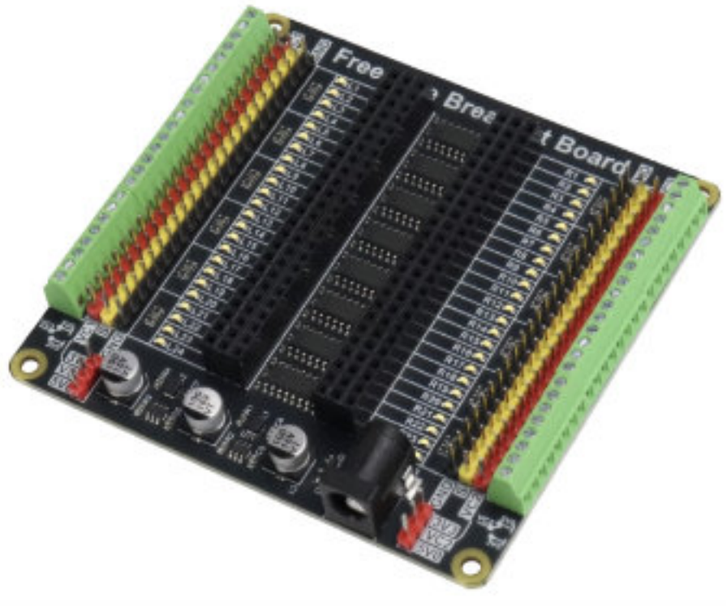


Figura 15. Breakout Board Freenove Universal

Sensore Termico DS18B20 - [E1 · R1.2 · P1.2a] [E7 · R7.1 · P7.1a] [E8 · R8.1 · P8.1a] *[Fig.16]*

Per il monitoraggio della temperatura interna della camera calda, la scelta è ricaduta sul sensore DS18B20, uno dei motivi principali è la sua architettura che lo rende particolarmente vantaggioso e di immediata "leggibilità" per un microcontrollore come Arduino. Infatti, a differenza di sensori puramente analogici, il DS18B20 è un termometro digitale integrato: al suo interno ospita un chip avente integrato l'elemento sensibile alla temperatura, un convertitore analogico-digitale (ADC) e un'interfaccia di comunicazione basata sul bus 1-Wire (questo permette di leggere la temperatura tramite un solo filo di segnale, oltre ai 2 di alimentazione). Ciò permette di non dover misurare una variazione di tensione o resistenza, ma si ottenere un segnale seriale digitale direttamente in input, semplificando notevolmente la topologia del circuito.

Nello specifico, questa tipologia di DS18B20 è resistente ai liquidi, questo è stato importante soddisfarlo per il sistema esigenziale-prestazionale (CAP.5).

In fase di studio preliminare è stata valutata e successivamente scartata l'ipotesi di impiegare una termocoppia. Le termocoppie sono trasduttori che sfruttano il cosiddetto *effetto Seebeck* (scoperto dall'omonimo fisico nel 1821): unendo le estremità di due conduttori di metalli o leghe differenti e sottoponendo le due giunzioni a temperature diverse, si genera ai loro capi una differenza di potenziale proporzionale al gradiente termico.

Sebbene le termocoppie offrano range di temperature misurabili estremamente ampi, presentano un interfacciamento molto più complesso. Il segnale elettrico generato dall'effetto Seebeck è di natura analogica, non lineare e di entità minuscola (nell'ordine dei microvolt per grado Celsius). Per essere acquisito e interpretato correttamente da Arduino, una termocoppia avrebbe richiesto un'elettronica esterna dedicata per l'amplificazione del segnale e un circuito per la compensazione del giunto freddo (*Cold-Junction Compensation*), essenziale per derivare la temperatura assoluta e non la mera differenza termica tra i due capi.

Schermo TFT 1,6 pollici, con manopola e pulsante - [E17 · R17.1 · P17.1a] [E1 · R1.2 · P1.2a] *[Fig. 17]*

Questo modulo unisce in un unico circuito stampato uno schermo TFT a colori da 1.6 pollici e una manopola con pulsante integrato (encoder rotativo). È la perfetta soluzione per avere in unico componente gli elementi necessari alla realizzazione di una HMI (Human Machine Interface) efficace.

Lo schermo offre una resa cromatica brillante e un'ottima nitidezza ideale per mostrare, menu di navigazione, valori di sensori, grafici e stati di funzionamento. La manopola con il pulsante permette di scorrere le opzioni dei menu ruotando e confermando la selezione con una semplice pressione centrale. Avere schermo e controlli fisici sulla PCB stessa riduce lo spazio occupato e semplifica il cablaggio verso il microcontrollore.

Per concludere è bene dire che si interfaccia facilmente tramite protocollo SPI (o I2C a seconda del driver) ed è compatibile con le principali schede di sviluppo come Arduino, ESP32, Raspberry Pi e STM32.



Figura 16. Sensore termico DS18B20



Figura 17. Schermo TFT 1,6 pollici con pulsante + encoder

Sensore di Umidità AM 2320 - [E1 · R1.2 · P1.2a] *[Fig.18]*

L'AM2320 è un sensore di temperatura e umidità ad alte prestazioni. Questo sensore permette, attraverso il protocollo standard I2C, di condividere i dati ottenuti con altri sensori risparmiando pin del microcontrollore. Rispetto ai classici sensori, l'AM2320 offre una risoluzione di 0.1°C per la temperatura e dello 0.1% per l'umidità, garantendo letture stabili per applicazioni precise. Il sensore funziona con un intervallo da 3.1 V a 5.5 V, si adatta perfettamente sia a schede a 3.3 V (come Arduino Nano ESP32, ESP8266, Raspberry Pi e STM32) sia a schede tradizionali a 5 V (come Arduino UNO o Mega) senza bisogno di moduli di adattamento.

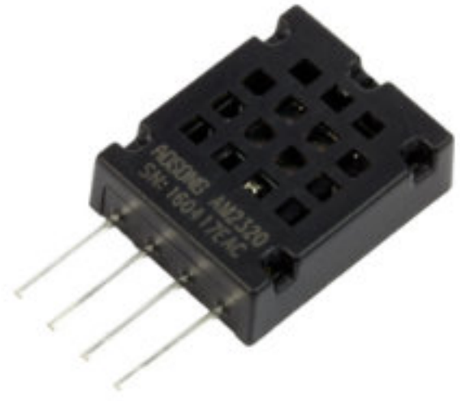


Figura 18. Sensore di Umidità AM 2320

Pannello riscaldante 12V 30W - [E8 · R8.1 · P8.1a] [E7 · R7.2 · P7.2a] *[Fig.19]*

Il pannello acquistato è stato selezionato per le dimensioni ridotte e per il basso voltaggio con cui deve essere alimentato. Parliamo infatti di un assorbimento di corrente continua pari a 2,5 Ampere. La resistenza riscaldante del pannello è pari a 4.8 Ohm. La potenza di 30W è bilanciata per offrire un riscaldamento rapido senza generare picchi incontrollabili, garantendo una distribuzione omogenea del calore superficiale.

A differenza degli elementi riscaldanti collegati direttamente alla rete elettrica a 230V, un pannello a 12V riduce i rischi legati a scosse elettriche, corto circuiti pericolosi o folgorazioni. Ciò lo rende la scelta ideale per:

Progetti fai-da-te e prototipi.

Applicazioni a contatto con l'utente o in ambienti con presenza di umidità e condensa.

Dispositivi portatili o alimentati da sistemi a energia solare e batterie.

La distribuzione termica del calore è omogenea ed evita quindi la formazione di hotspot che potrebbero rovinare i materiali a contatto. Le dimensioni ridotte della superficie riscaldante (100x100mm) aiutano al raggiungimento della temperatura desiderata in un periodo di tempo molto breve.



Figura 19. Pannello riscaldante 12V 30W

Termostato KSD9700 - [E7 · R7.1 · P7.1a] [E7 · R7.2 · P7.2a] [E8 · R8.1 · P8.1a] *[Fig.20]*

Il termostato è un componenete elettro-meccanico che sfrutta la deformazione termica dei metalli per chiudere o aprire il circuito elettrico. Vi sono tipologie NC (Normally Closed - Normalment Chiuso) o NO (Normally Closed - Normalment Chiuso), nel nostro caso utilizzere un NC con temperatura di sicurezza da definire. Questo perchè è un componente di sicurezza, utilizzato nel caso il relè che permette la chiusura del circuito per attivare il riscaldamento del pannello, si rompesse rimanendo nella poszione di chiusura. Se ciò accadesse sarebbe un enorme problema di sicurezza dato l'innalzamento incontrollato della temperatura e l'impossibilità del controllore di intervenire nel guasto. Il termostato in questo caso è fondamentale per garantire la sicurezza dell'intera camera calda, poichè funziona in maniera autonoma, e quindi, totalmente autonomo da possibili guasti di altri componenti. Essendo NC permette il passaggio di corrente, ma una volta superata la temperatura di sicurezza, apre il contatto per interrompere il flusso di corrente e impedire danni alla camera calda e ustioni all'animale.

Relè Temporizzato Multifunzione (FC-32) a 5V con Potenziometro - [E7 · R7.1 · P7.1a] [E8 · R8.1 · P8.1a]

Questa scheda è un modulo relè intelligente autonomo basato su relè Songle da 5V. A differenza dei classici moduli relè, questo modello integra un circuito di controllo soglia gestibile tramite un potenziometro e una serie di jumper che consentono di attivare o ritardare carichi elettrici anche senza la presenza di un microcontrollore esterno. Presenta 3 contatti a vite:

COM (Comune): Il cavo di ingresso del circuito di carico che si desidera interrompere/collegare.

NO (Normally Open - Normalment Aperto): Il contatto rimane aperto a riposo. Quando il relè si attiva, si chiude verso COM alimentando il carico.

NC (Normally Closed - Normalment Chiuso): Il contatto rimane chiuso a riposo. Quando il relè si attiva, si apre interrompendo l'alimentazione.

Interruttore a Bilanciere Rotondo 20mm (SPST ON/OFF) con Cavi Presaldati - [E7 · R7.2 · P7.2a] *[Fig.21]*

L'interruttore a bascula è uno dei componenti meccanici più diffusi, pratici e affidabili nell'elettronica. Offre una commutazione semplice di tipo ON-OFF, perfetto per gestire l'alimentazione principale di circuiti a bassa tensione (12V). Questo elemento non richiede ghiere o elementi di fissaggio. È infatti sufficiente praticare un foro sulla superficie su cui si vuole inserire del diametro di 20mm. Le due alette laterali poste a lato si espandono all'interno del foro bloccando saldamente l'interruttore. L'interruttore basculante, inoltre, permette di percepire in maniera chiara il passaggio dallo stadio ON a OFF anche grazie ai simboli "I" e "O" stampati sulla superficie.

Essendo un interruttore unipolare a due contatti (SPST - Single Pole, Single Throw), il suo principio di funzionamento elettrico equivale a quello di un sezionatore meccanico di linea: la sua unica funzione è interrompere o ripristinare la continuità di un singolo conduttore lungo il circuito di alimentazione.

Per garantire la massima sicurezza dell'impianto ed evitare differenze di potenziale indesiderate sui componenti a riposo, l'interruttore va sempre posizionato in serie sul conduttore Positivo (+12V) e mai sulla linea di massa (GND).

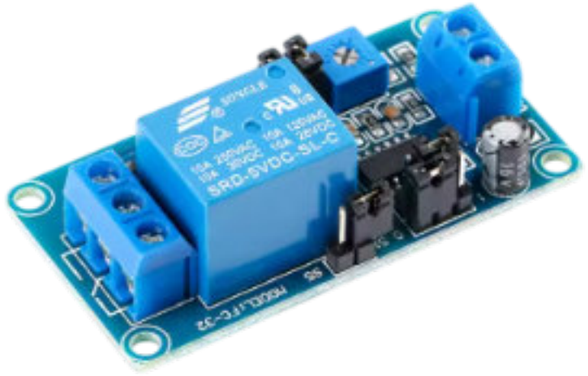


Figura 20. Relè Temporizzato Multifunzione

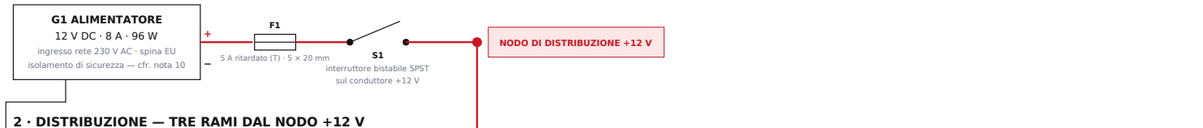


Figura 21. Interruttore a Bilanciere Tondo 20mm

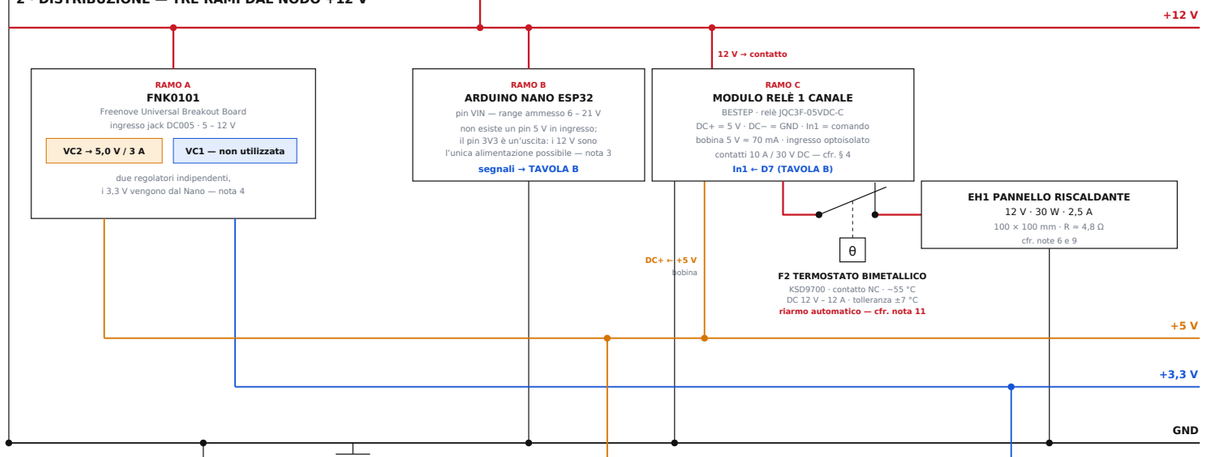
TAVOLA A — SCHEMA DI POTENZA

Camera calda modulare per la degenza di fauna selvatica · CRAS ODV, Bernezzo (CN)
Simbologia IEC 60617 · distribuzione 12 V, rail 5 V e 3,3 V, protezione e attuazione · rev. 3 — 26.07.2026

1 · INGRESSO, PROTEZIONE E NODO DI DISTRIBUZIONE



2 · DISTRIBUZIONE — TRE RAMI DAL NODO +12 V



3 · CARICHI PER RAIL

+12 V

- EH1 pannello riscaldante 30 W (via K1)
- Pin VIN del Nano ESP32
- Ingresso della scheda FNK0101

- Il contatto di K1 commuta i 12 V,
- ma la sua bobina sta sul rail 5 V

+5 V

- MICS-6814 — riscaldatori, 4,9 – 5,1 V
- Bobina del relè K1 — ≈ 70 mA
- Driver umidificatore a ultrasuoni

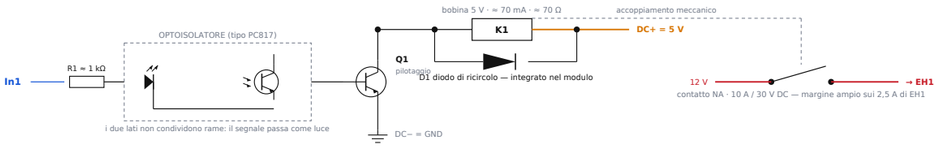
- Tutti e tre con interfaccia dedicata
- verso i GPIO — cfr. TAVOLA B

+3,3 V

- AM2320 — temperatura e umidità (I²C)
- DS18B20 #1 e #2 — 1-Wire
- Display TFT ST7735 1,8" (SPI)
- Encoder rotativo EC11
- Pull-up 4,7 kΩ × 4 — TAVOLA B

4 · MODULO RELÈ — SCHEMA INTERNO (IEC 60617)

BESTEP 1 Channel Relay Module · relè JQC3F-05VDC-C · rappresentazione funzionale del circuito presente a bordo scheda



PONTICELLO High / Low

Seleziona se il relè si attiva
a livello alto o basso su In1.

Con comando a 3,3 V la soglia
va verificata a banco.

Se il relè non commuta:
MOSFET 2N7002 in open-drain
su In1 — cfr. nota 7.

Il modulo integra già optoisolatore, transistor di pilotaggio Q1 e diodo di ricircolo D1: non è un relè nudo. La bobina è a 5 V (JQC3F-05VDC-C):
DC+ si alimenta dal rail +5 V della FNK0101, DC− = GND, In1 = comando dal pin D7. Il contatto commuta invece i 12 V del pannello.

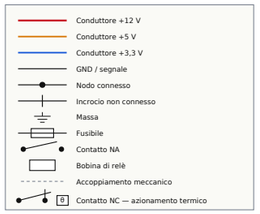
5 · NOTE TECNICHE

1. F1 si dimensiona sulla corrente normale (3,15 A), non sugli 8 A della sorgente: un 8 A non interverrebbe mai.
2. Tipo T (ritardato): tollera lo spunto dei condensatori della FNK0101, apre su sovraccarico prolungato.
3. Il Nano ESP32 non ha un pin 5 V in ingresso e il pin 3V3 è un'uscita: VIN a 12 V è l'unica alimentazione ammessa.
4. Il rail 3,3 V è generato dal pin 3V3 del Nano; della FNK0101 si usa solo VC2, che genera i 5 V.
5. I GPIO del Nano ESP32 non sono 5 V-tolerant: massimo assoluto 3,6 V su ciascun pin.
6. Il relè commuta i 12 V: il microcontrollore non alimenta mai direttamente l'elemento riscaldante.
7. Soglia di In1 con comando a 3,3 V da verificare a banco; in caso negativo MOSFET logic-level (cfr. § 4).
8. D1, optoisolatore e Q1 sono integrati nel modulo BESTEP. Bobina a 5 V (DC+ dal rail VC2), contatto sui 12 V.
9. Elementi riscaldanti a 12 V e non a 230 V, in ambiente con animali e umidità (principio 12).
10. I 12 V rientrano in SELV: non pericolosi al contatto. Il rischio è il cortocircuito fra i poli e il lato 230 V.
11. F2 è in serie sul carico: apre EH1 anche con il contatto di K1 incollato o il microcontrollore guasto.

6 · BILANCIO 12 V

EH1 pannello 30 W	2,50 A
FNK0101	≈ 0,50 A
Nano ESP32 (VIN)	≈ 0,15 A
Totale di picco	**≈ 3,15 A**
Alimentatore G1	8,00 A
Utilizzo	**≈ 40 %**
Fusibile F1	**5 A T**

LEGENDA IEC 60617



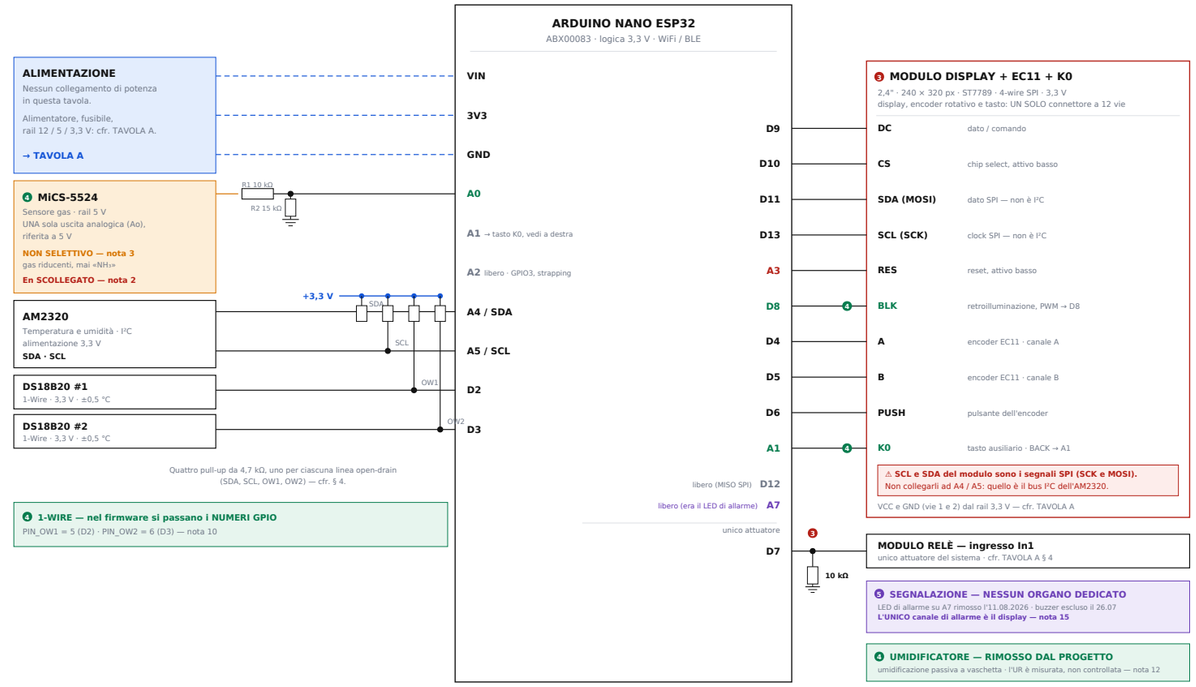
F. Marocco · L. Paulato — Tesi di laurea triennale in Design del Prodotto, Politecnico di Torino · documento riservato per regolamento PoliTo

Figura 22. Schema elettrico di potenza

TAVOLA B — SCHEMA DI SEGNALE

Camera calda modulare per la degenza di fauna selvatica · CRAS ODV, Bernezzo (CN)
Simbologia IEC 60617 · logica interamente a 3,3 V · sensori, interfaccia e comandi · rev. 5 — 11.08.2026

1 · COLLEGAMENTI AL MICROCONTROLLORE



A0 = blocco ADC1, utilizzabile con WiFi attivo (ADC2 è inibito dalla radio)

2 · MAPPA DEI PIN — rev. 5

PIN	FUNZIONE	PERIFERICA		PIN	FUNZIONE	PERIFERICA	
VIN	alimentazione 12 V	TAVOLA A		**D3**	1-Wire (OW2) · GPIO 6	DS18B20 #2	rev.4
3V3	uscita 3,3 V	sorgente del rail 3,3 V		**D4**	ingresso digitale	Encoder · A (CLK)	
GND	massa comune	tutte le periferiche		**D5**	ingresso digitale	Encoder · B (DT)	
A0	ADC1	MiCS-5524 · Ao (canale unico)	rev.4	**D6**	ingresso digitale	Encoder · PUSH	
A1	ingresso digitale	Tasto K0 (era su D12)	rev.4	**D7**	uscita digitale	Relè · In1 + R 10 kΩ a GND	rev.3
A2	— · pin di strapping	LIBERO	rev.4	**D8**	uscita PWM	Display · BLK (era su A6)	rev.4
A3	uscita digitale	Display · RES	rev.3	**D9**	SPI DC	Display · DC	
A4 / SDA	I²C dati	AM2320		**D10**	SPI CS	Display · CS	
A5 / SCL	I²C clock	AM2320		**D11**	SPI MOSI	Display · SDA	
A6	—	LIBERO (BLK è passato a D8)	rev.4	**D12**	— · MISO dell'SPI	LIBERO (umidificatore rimosso)	rev.4
A7	—	LIBERO (LED di allarme rimosso)	rev.5	**D13**	SPI SCK	Display · SCL	
D2	1-Wire (OW1) · GPIO 5	DS18B20 #1	rev.4				

3 · PARTITORE DEL MiCS-5524



Vout = Vin × R2 / (R1 + R2)
Vout = 5,00 × 15 / 25 = 3,00 V

Margine sul limite di 3,3 V dell'ADC:
0,30 V, cioè il 9 %.
Una sola uscita → una sola rete,
un filo, un pin (rev. 4).
Il fondo scala utile scende al 60 %:
accettabile per una misura qualitativa.

SENZA PARTITORE L'ADC SI DEGRADA,
e il danno è silenzioso: in aria pulita
Ao resta basso e sembra tutto a posto.

4 · PERCHÉ I PULL-UP

I²C e 1-Wire sono bus open-drain: i dispositivi sanno solo tirare la linea a massa, nessuno la porta a livello alto. La resistenza verso +3,3 V la riporta alta quando nessuno la tiene bassa. Senza, la linea resta flottante.

4,7 kΩ: abbastanza bassa da ricaricare in fretta la capacità parassita, abbastanza alta da assorbire solo 0,7 mA.

L'encoder e il tasto K0 NON hanno pull-up esterni: si usano quelli interni del Nano, abilitati via INPUT_PULLUP.

⚠ Il pull-up spiega il livello alto, non la presenza di un dispositivo: sul 1-Wire una linea alta e ferma significa che NESSUNO risponde. Cfr. nota 10.

LEGENDA



5 · NOTE DI SEGNALE

1. Tutta la logica è a 3,3 V. I GPIO del Nano ESP32 non sono 5 V-tolerant: max 3,6 V per pin.
2. MiCS-5524: En è un DISABILITA, già a massa a bordo. Va lasciato SCOLLEGATO, mai a 5 V.
3. Il MiCS-5524 non è selettivo: indica variazioni di gas riducenti, mai NH₃ né valori in ppm.
4. DS18B20 e AM2320 a 3,3 V: il loro V_IH è 0,7 × V_DD, a 5 V sarebbero fuori specifica.
5. Un pull-up da 4,7 kΩ per linea open-drain: SDA, SCL, OW1, OW2, verso +3,3 V.
6. Display ed encoder sono un solo componente: modulo 2,4" ST7789 con EC11 e tasto K0, 12 vie.
7. Le vie SCL e SDA del modulo sono SPI (SCK e MOSI), non I²C: su D13 e D11, mai su A4 / A5.
8. D12 è il MISO dell'SPI ed è ora libero. Prima di riusarlo, rifare il test «a» di T0.
9. R 10 kΩ fra D7 e GND: stato sicuro del relè nei ~300 ms di boot, con il GPIO flottante.
10. 1-Wire: alla libreria OneWire si passano i NUMERI GPIO (5 = D2, 6 = D3). Accede ai registri GPIO direttamente e scavalca la rimappatura «By Arduino pin» dell'IDE.
11. A2 = GPIO3, pin di strapping dell'ESP32-S3: libero, utilizzabile come ingresso, mai come uscita.
12. Umidificatore attivo rimosso: umidificazione passiva a vaschetta, l'UR è misurata non controllata.
13. D8 pilota BLK in PWM. Misurare la corrente di retroilluminazione: oltre 35 mA, un 2N7002.
14. Display ST7789: invertDisplay(false) e setRotation(3) → 320 × 240, modulo montato a 180°.
15. Nessun organo di segnalazione: il display è l'unico canale di allarme. Limite dichiarato in tesi.

F. Marocco · L. Paulato — Tesi di laurea triennale in Design del Prodotto, Politecnico di Torino · documento riservato per regolamento PoliTo

Figura 23. Schema elettrico di segnale

08
Modello fisico

8.1 - Dal modello virtuale alla Prototipazione

La fase di modellazione 3D è sicuramente una fase cruciale per la visualizzazione concreta dei requisiti e delle prestazioni e il conseguente sviluppo di forme adeguate al loro assolvimento. Ancora più impattante è la realizzazione di un prototipo fisico che permetta di capire e toccare con mano in maniera concreta i risultati ottenuti a seguito della modellazione, appunto.

Spesso ciò che sembra perfetto se modellato al computer può rivelarsi problematico una volta provato sul campo; per questo, di seguito andiamo ad analizzare le fasi che hanno portato alla realizzazione del prototipo funzionale.

La prototipazione di una camera calda richiede uno sforzo non indifferente per la gestione dei componenti multimateriale e l'assemblaggio fino alla struttura finale.

8.2 - Evoluzione del modello: Prove fisiche e Prototipo funzionale

La creazione del prototipo si articola in due fasi ben distinte. La prima riguarda la realizzazione delle prove di stampa, necessarie per confermare la bontà del progetto o per correggere le geometrie che nel modello CAD apparivano corrette. La fase successiva è dedicata all'assemblaggio del prototipo finale, consolidando le componenti già validate attraverso i test preliminari e i vari mockup di studio.

8.2.1 - Modelli

I primi modelli fisici realizzati sono stati utili per la comprensione degli ingombri di alcuni componenti critici e di capire come poter migliorarli per adattarli alla struttura intera. I mockup sono stati realizzati principalmente con la tecnologia FDM impiegando filamenti di PLA prima di passare poi al PETG per i pezzi definitivi.

La Fig.24 illustra la prima versione concettuale sviluppata per lo studio dei telai modulari. I moduli, di forma perfettamente quadrata per consentirne l'affiancamento, presentano una foratura con geometria di ispirazione floreale, ricavata per sottrazione a partire dall'esagono di base che caratterizza l'intera superficie. Tale pattern risulta incassato all'interno della struttura, posizionandosi a una quota leggermente rientrata (di pochi millimetri) rispetto al piano esterno.

La prova di stampa di questo componente ha tuttavia evidenziato diverse criticità, in primo luogo un'inefficiente gestione dello spazio. Come visibile dall'immagine, la cornice perimetrale di ciascun elemento, una volta affiancata a quella del modulo adiacente, raddoppia il proprio spessore, generando così una fascia centrale (sia verticale che orizzontale) del tutto inutilizzabile.

Dall'analisi visiva riportata nella Fig.25, si evince come la configurazione del pattern risulti particolarmente articolata, ponendo limiti stringenti in fase di stampa. La complessità geometrica incrementa la suscettibilità del processo a imperfezioni e deviazioni geometriche. Si è resa quindi indispensabile la ricerca di una geometria alternativa più semplice, concepita specificamente per ridurre la probabilità di fallimento, migliorare la ripetibilità del processo e garantire una maggiore robustezza produttiva.

Per ovviare alle problematiche riscontrate, l'intera struttura è stata riprogettata e fortemente semplificata, ripartendo dal modulo base esagonale. La nuova configurazione (Fig. 26) presenta un esagono modificato tramite l'eliminazione di una sezione specifica, volta a integrare la sede d'alloggiamento per una micro-clip di giunzione modulare. Perimetralmente, il frame integra una cornice interna svasata a 45°, progettata per facilitare l'accoppiamento geometrico dei vari moduli e consentirne il successivo bloccaggio meccanico mediante clip appositamente dimensionate.

Nell'ingrandimento mostrato in Fig.27 è visibile la vista dal basso del gruppo frame-clip nella sua configurazione iniziale, ovvero il piano di contatto orientato verso le pareti della camera termica. Come si può osservare, il rapporto tra lo spazio centrale necessario e l'area funzionale sfrutabile risulta poco ottimizzato. Inoltre, le clip mostrano evidenti limiti progettuali: il loro inserimento nelle sedi del frame richiede un'elevata interferenza meccanica durante il montaggio e la loro geometria non garantisce una tenuta strutturale adatta alle sollecitazioni dell'intero assieme.

La produzione del modello della maniglia ha mostrato delle tolleranze ottime per l’inserimento dellatesta della vite, ma è risultata poco ergonomica per quanto riguarda la presa, è stato quindi necessario riprogettare il profilo per un maggiore comfort. *[Fig.28]*

Il modello della scatola di derivazione *[Fig.29 e Fig.30]* è stato fatto per comprendere 6 punti molto importanti:

· Distanziamento corretto delle sedi per gli inserti filettati

· Comprendere le dimensioni necessarie della scatola per permettere il cablaggio (il modello ha suggerito un dimensionamento maggiore)

· Verificare la chiusura corretta del coperchio

· Capire la posizione migliore per il passacavo

· Verificare le tolleranze

· Testare la fattibilità di estrazione degli inserti per un possibile riciclo del materiale plastico al fine vita del prodotto (test riuscito)

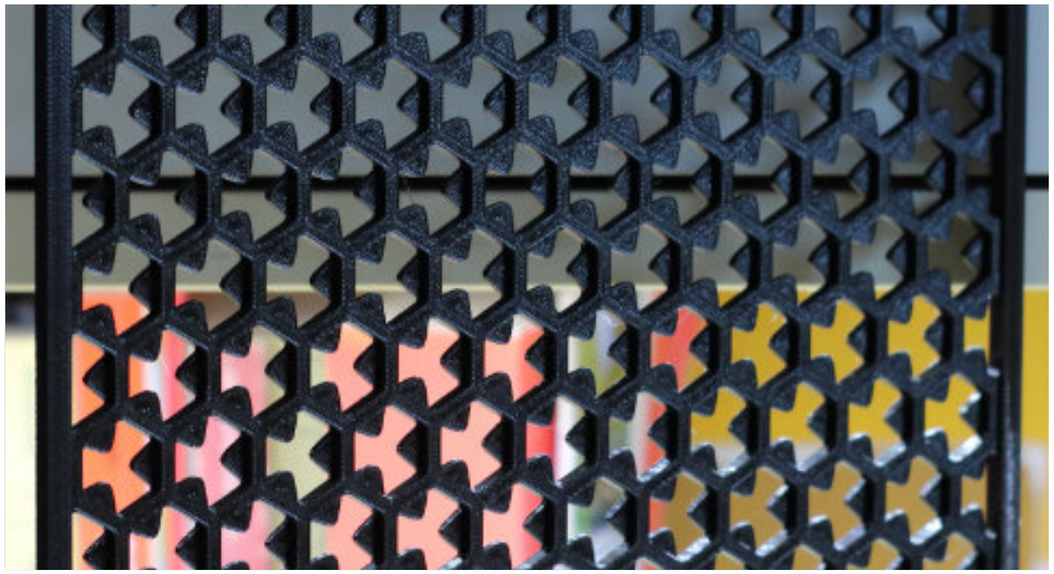


Figura 24. Prova di stampa della prima versione del frame progettata

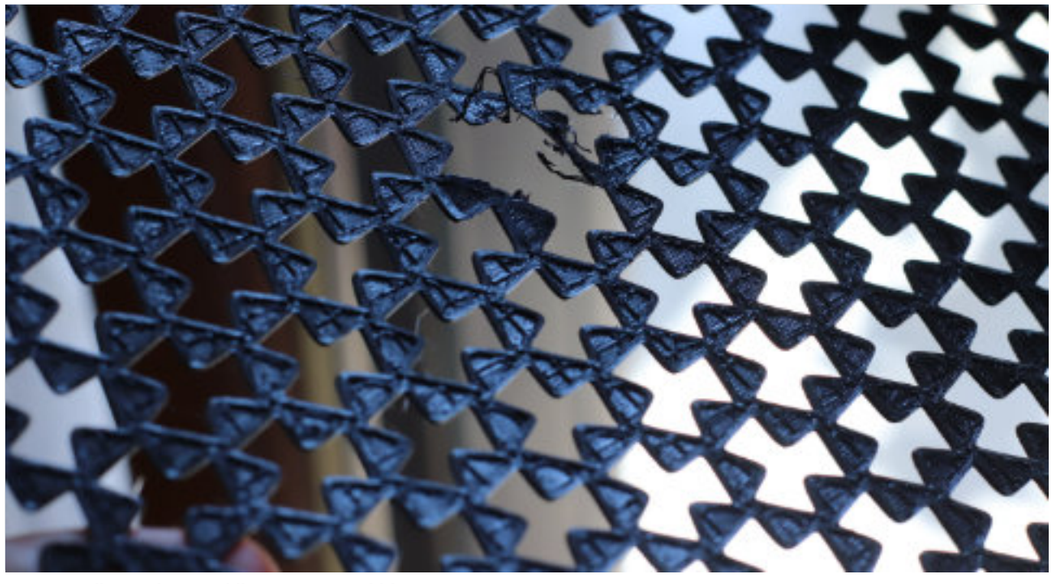


Figura 25. Fallimento di stampa della prima versione del frame progettata

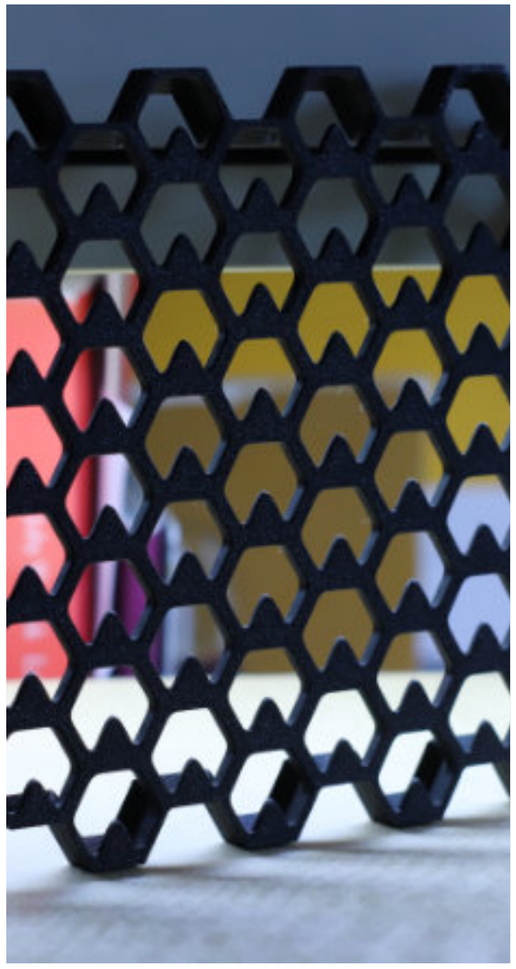


Figura 26. Ingrandimento della seconda versione del frame con inclinazione a 45°

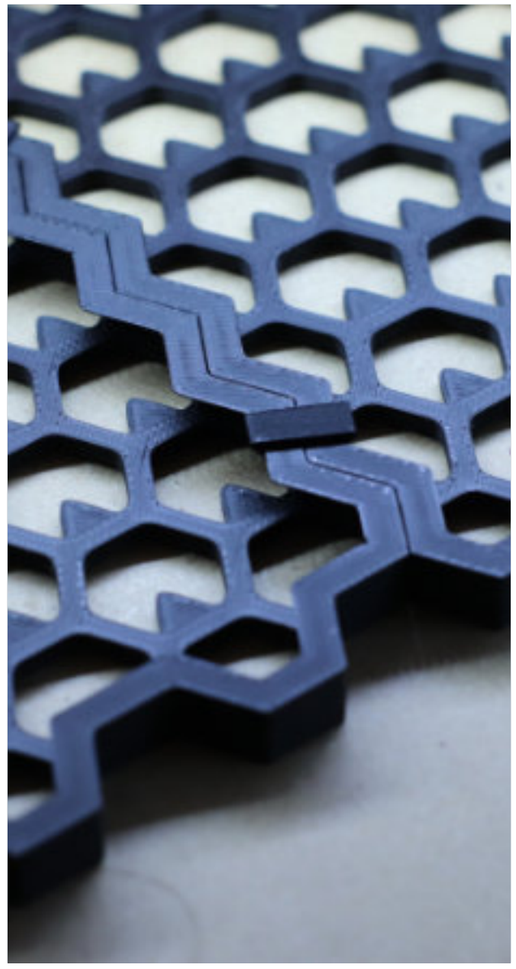


Figura 27. Ingrandimento della seconda versione del frame con inclinazione a 45° e clip inserita



Figura 28. Immagine della prima versione della maniglia con evidenti problematiche di ergonomia

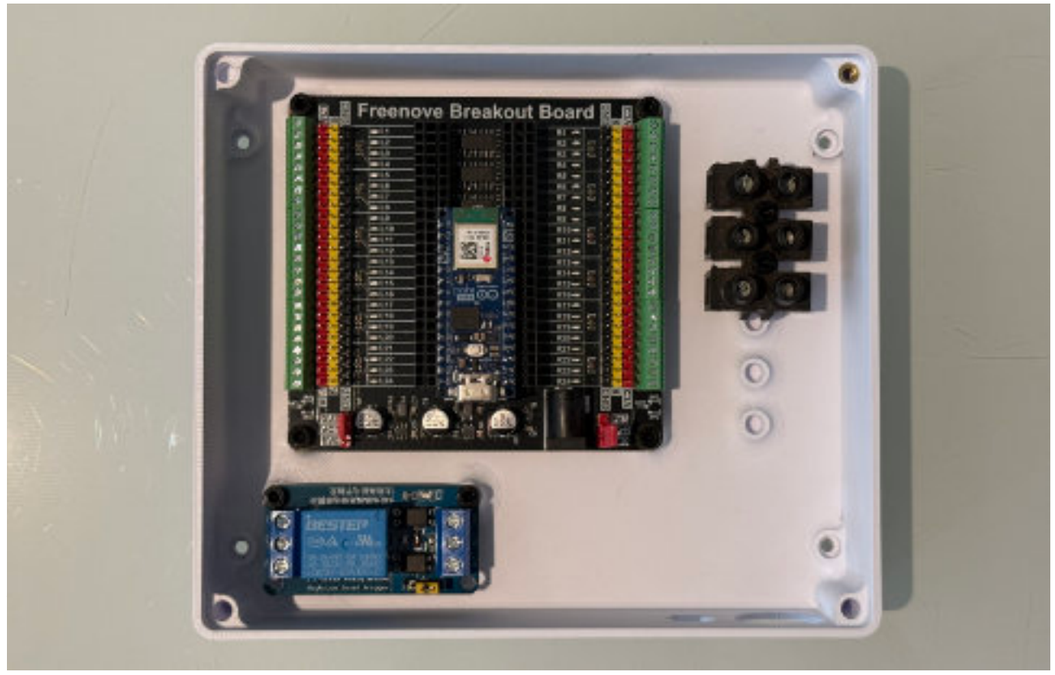


Figura 29. Immagine della prima versione della scatola di derivazione

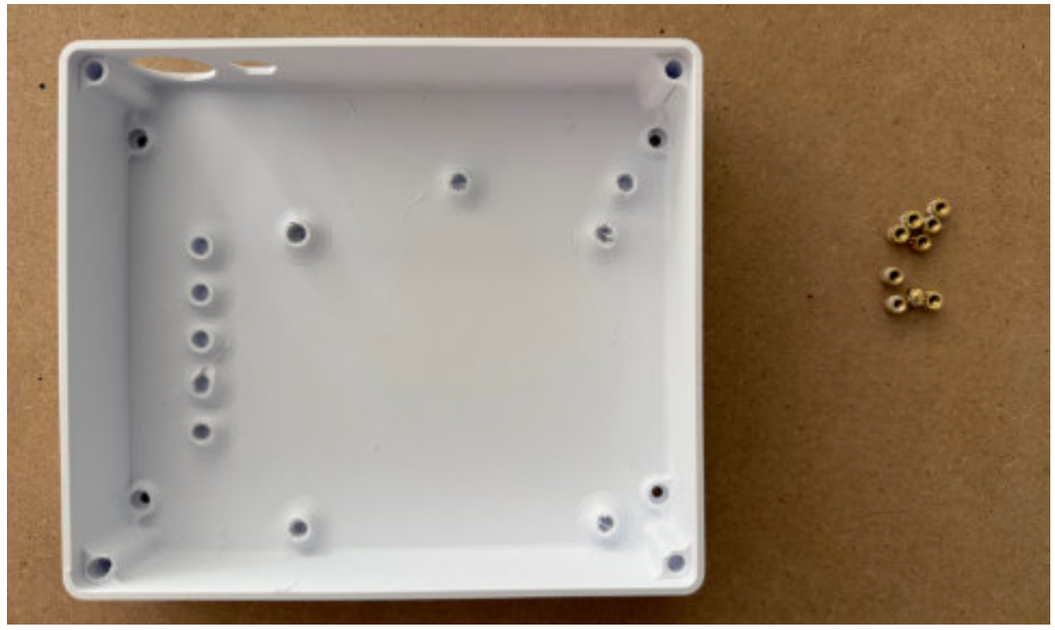


Figura 30. Immagine della prima versione della scatola di derivazione senza gli inserti filettati

09
Fase esecutiva

9.1 - Progetto esecutivo

In questa fase, dopo aver analizzato i modelli realizzati e le relative problematiche, possiamo procedere allo sviluppo del prodotto definitivo, tenendo in considerazione non solo i vincoli del progetto ma anche quelli tecnologici di produzione.

9.2 - Modellazione 3D

La modellazione 3D permette di eseguire precise valutazioni dimensionali e delle proporzioni senza sprecare tempo e denaro durante la fase di modellazione fisica. In questa fase le singole componenti vengono adattate tra loro in modo tale da avere un sistema unico composto da parti che tra loro si adattano perfettamente. Anche in questa fase è importante modellare seguendo ciò che è stato analizzato nella tabella esigenziale (Consultabile al Capitolo 5), ciascun componente è stato studiato nel dettaglio tenendo conto dei vincoli geometrici e delle tolleranze.

Si è deciso di utilizzare la modellazione parametrica che permette di avere una notevole flessibilità dimensionale durante l'intero processo, avendo la possibilità di cambiare e adattare le misure. Il software utilizzato e Fusion 360, un programma di Autodesk che dà la possibilità di esportare i file in svariati formati, di lavorare in cloud, avere salvataggi automatici e facilmente accessibile ai più grazie ai bassi costi di licenza.



Figura 31. Immagine tridimensionale della camera calda nella sua interezza



Figura 32. Immagine tridimensionale della camera calda vista posteriormente



Figura 33. Immagine tridimensionale della camera calda vista frontalmente



Figura 34. Immagine della versione definitiva del frame interno

Il primo elemento che è stato realizzato in CAD è il frame. Come suggerisce il nome, questo è l'elemento fondamentale interno che costituisce la camera calda. La struttura è stata pensata infatti per essere versatile, customizzabile e riconfigurabile grazie alle forme geometriche su cui si erge. L'ispirazione al mondo degli animali e della natura è lampante. Il nido d'ape e più precisamente le celle esagonali che compongono l'interno degli alveari, sono state di forte ispirazione per questo progetto. Il modulo dell'esagono è la forma geometrica che più si presta per riempire superfici piatte.
Il frame *[Fig.35]* è composto da 56 esagoni rispettivamente posizionati in maniera sfalsata gli uni dagli altri per favorire il combaciare di ogni modulo con gli altri fino a costituire l'intera parete interna formata quindi da 4 moduli diversi uniti tra loro ad incastro, per un totale di 224 esagoni in uno spazio di 280x280mm.

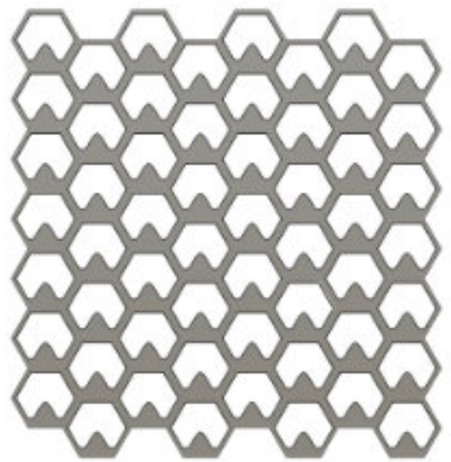


Figura 35. Immagine della versione definitiva del frame interno vista frontale

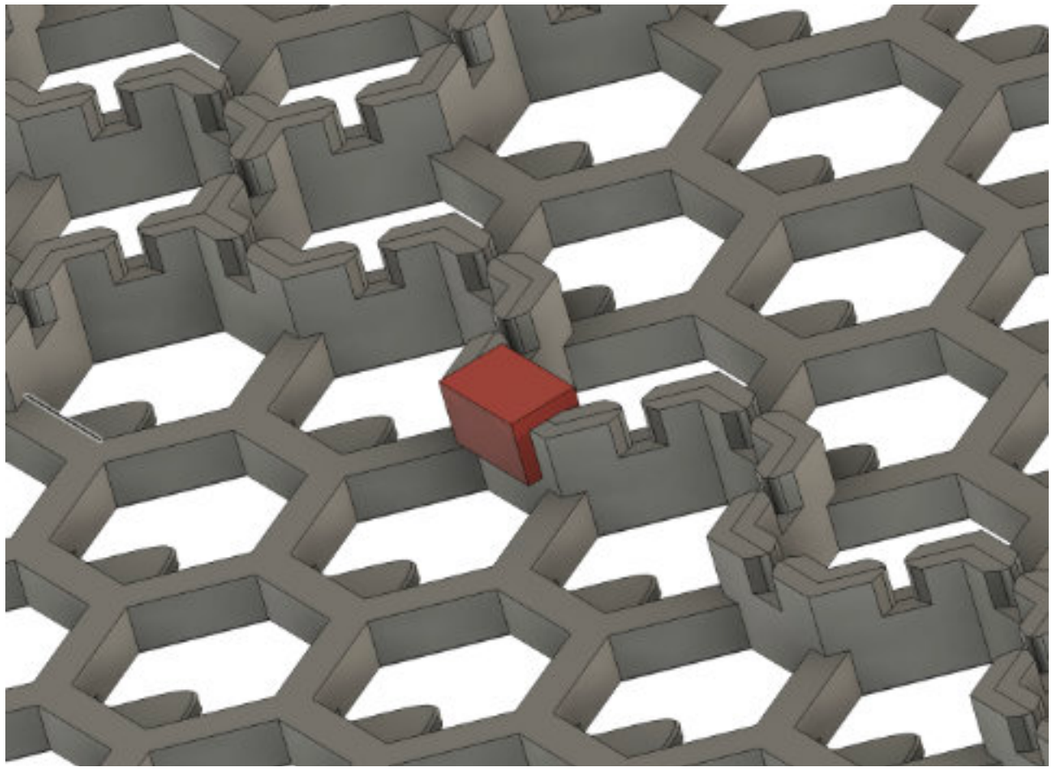


Figura 36. Immagine della clip di connessione dei frame

La nuova versione della clip [Fig.37] è più grande, robusta e semplice da inserire, si tratta di una "C" rivisitata che all'interno presenta un elemento di battuta per gli incassi sui bordi dei frame, in modo da vincolarne in entrambe le direzioni (distanziamento e scorrimento).

Un dettaglio da evidenziare sono gli smussi interni alla clip, questi sono posti per diminuire il ponte che si verificherebbe durante la stampa (evitare i supporti) e per aumentare la resistenza all'apertura. Si può apprezzare l'innesto della clip per giuntare 2 frame nella figura 36 e la relativa sezione nella figura 38.

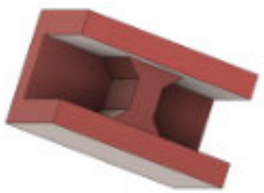


Figura 37. Immagine ingrandita della clip di connessione dei frame

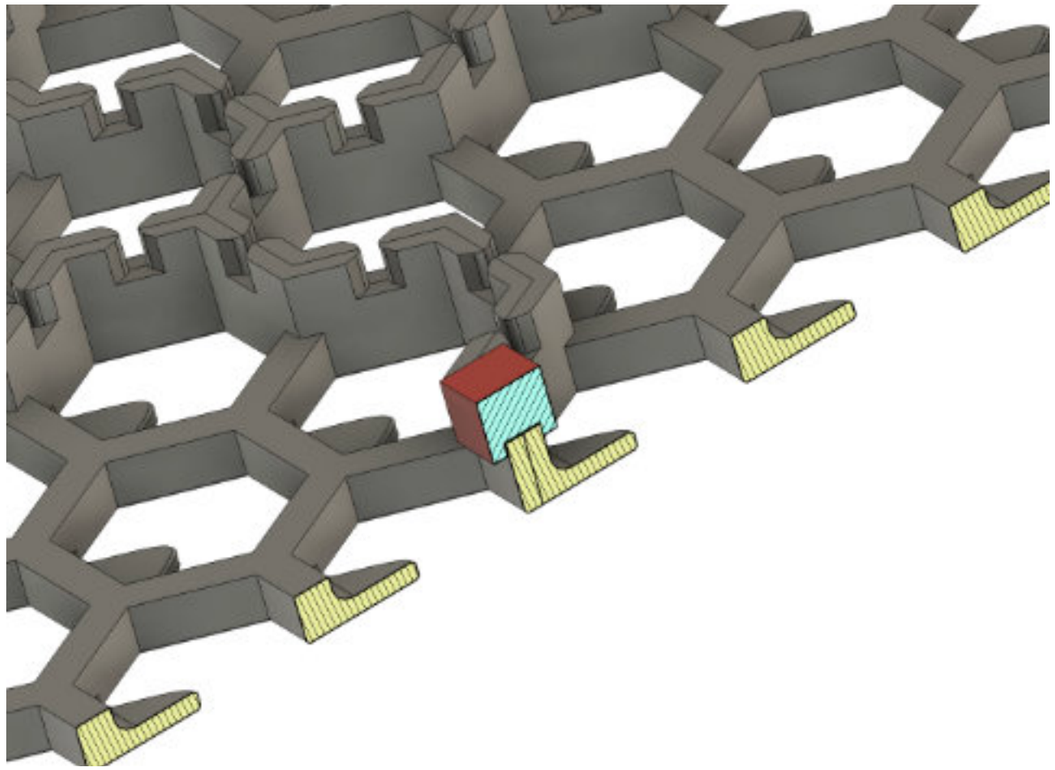


Figura 38. Immagine ingrandita e sezionata della clip di connessione dei frame

Si può notare dalle immagini che ogni esagono presenta una piccola linguetta aggiuntiva *[Fig.39]*. Questa funge da guida per il corretto inserimento dei moduli all'interno degli esagoni *[Fig.41 e Fig.42]* e allo stesso tempo diventa protagonista del sistema a clip e fissa i vari elementi al frame.

Per evitare movimenti oscillatori che possono allentare gli innesti dei moduli, abbiamo pensato di mantenere l'esagono anche per gli accessori ad innesto *[Fig.40 e Fig.43]*. Tramite una piccola scanalatura situata posteriormente, posta in offset di pochi millimetri rispetto al perimetro esterno di ciascun esagono, è possibile incastrare all'interno l'accessorio e serrare in posizione il tutto.

Per permettere la connessione di qualsiasi accessorio è necessario utilizzare una vite e un dado di tipo M3. Questa tipologia di vite e bullone è stata scelta per il montaggio di tutte le parti della camera calda favorendo l'utilizzo di un unico strumento di serraggio durante tutto il tempo della camera calda.

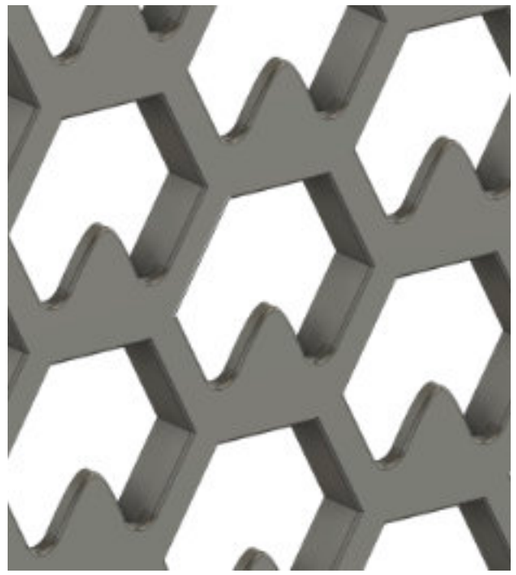


Figura 39. Dettaglio sulle linguette all'interno degli esagoni

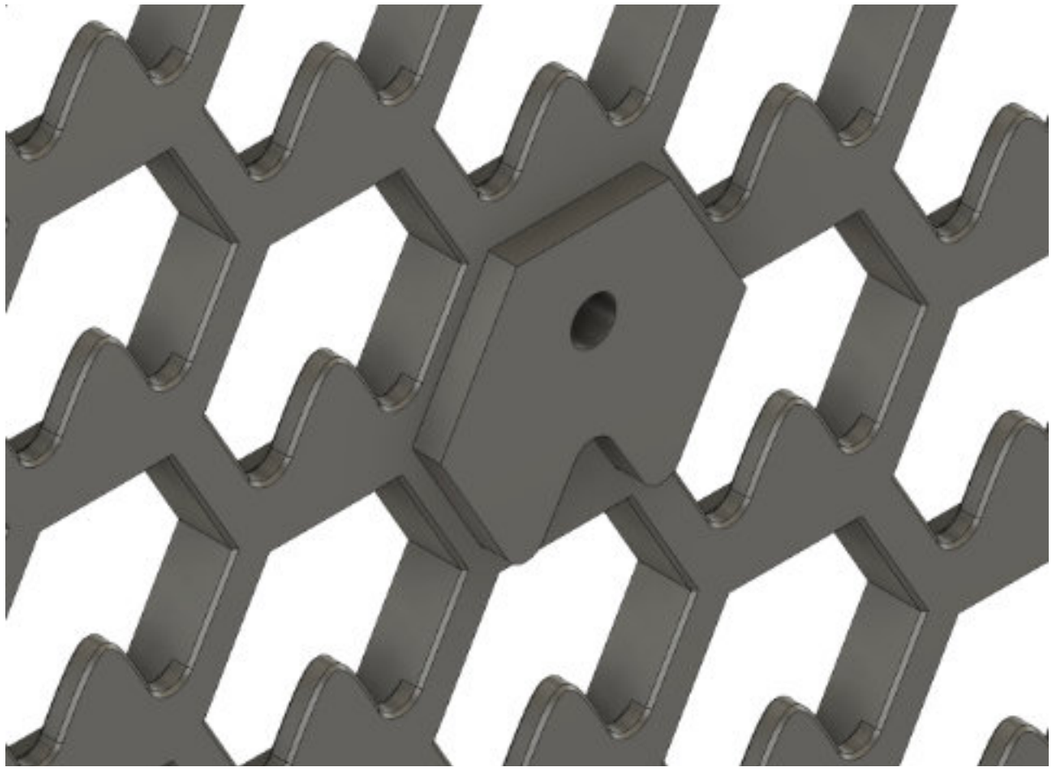


Figura 40. Immagine del pin inserito all'interno del frame

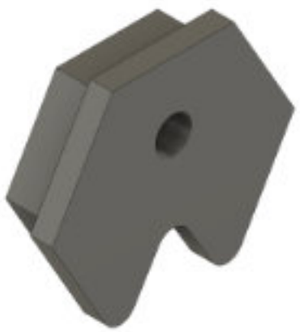


Figura 41. Immagine a 45° della parte frontale del pin

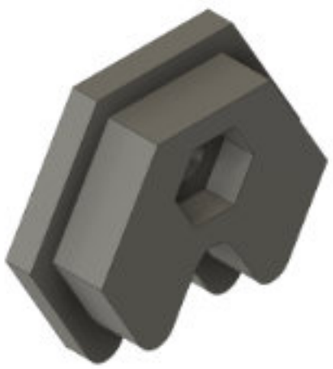


Figura 42. Immagine a 45° della parte posteriore del pin

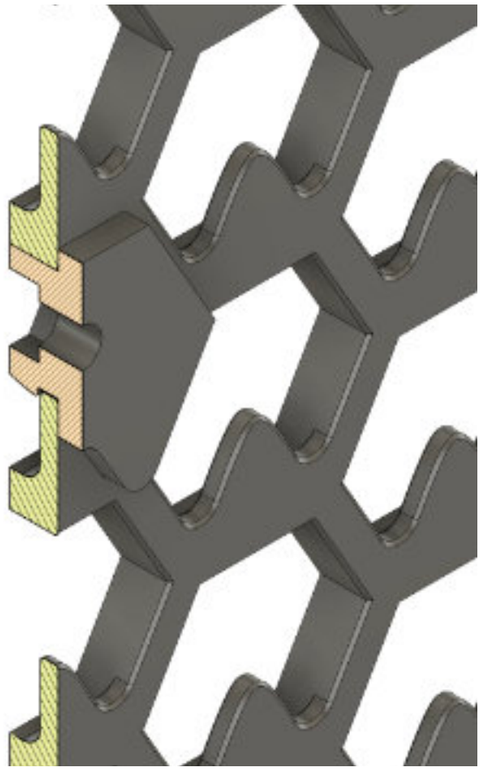


Figura 43. Immagine del pin inserito all'interno del frame sezionato



Figura 44. Esploso assonometrico accoppiamento pin

Un semplice modulo che è stato pensato per i chirotteri è quello per fissare la zanzariera al frame, infatti come desiderato dall'associazione, preferiscono utilizzare la zanzariera come sistema di supporto e attacco per questa specie.

Il sistema è molto semplice e va a sfruttare la vite passante e il triangolo di innesto del modulo nel pin per fissare i 4 angoli del rettangolo della zanzariera, inserendola nel mezzo dei 2 componenti. *[Fig.44 e Fig.45]*

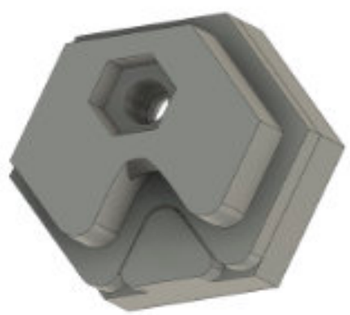


Figura 45. Accoppiamento pin

Lo sfalsamento di 20mm per lato in una parete 300x300mm non è casuale (abbiamo detto prima che l'insieme 2x2 dei frame ha come grandezza risultante 280x280mm), è stato considerato infatti anche il distanziatore per connettere il frame alla parete della camera calda, senza considerare questa sporgenza, infatti, nelle pareti adiacenti i frame si sarebbero incontranti, vietando fisicamente il loro montaggio.

Per fermare il frame alla parete interna della camera calda si è partiti dalla forma esagonale estrusa e suddivisa in due pezzi distinti. Il primo è a contatto con la parete e si inserisce posteriormente nella fessura esagonale *[Fig.46]*. Davanti invece l'altro pezzo. ovvero il tappo, si posiziona nel foro esagonale fino ad arrivare in battuta *[Fig.47]*, il tutto viene serrato da una vite passante che si installa internamente fino al fondo.



Figura 46. Immagine dei distanziatori all'interno del frame



Figura 47. Tappo del distanziatore

Per unire insieme i pannelli a "sandwich" è stato necessario progettare delle staffe angolari ad "L" sviluppate su 3 assi distinti *[Fig.48]*che si inseriscono nell'interno e vengono fissate alle pareti tramite viti M3. Questa staffa a tripla L è progettata per essere versatile in ogni direzione e permettere quindi di dover stampare un singolo modello per tutti e 8 gli angoli, Infatti in base al posizionamento, solo nei lati che si trovano diretti verso la faccia frontale della camera verranno utilizzati i fori esagonali per l'inserimento dei magneti.

I fori circolari sui lati sono predisposti per l'inserimento di inserti a fusione che fungeranno da elemento filettato per il fissaggio dei pannelli interni ed esterni tramite viti M3.

Qui è da notare l'attenzione descritta in precedenza, poiché sarebbe stato possibile a livello estetico progettare una tasca interna del pezzo che permettesse di inserire il magnete durante il processo di stampa, si è preferito optare per il foro esagonale, questo perchè altrimenti si creerebbero molti fermo macchina e un costo extra di lavorazione, inoltre, è anche vero che in questo modo, se si sbagliasse il verso del polo del magnete, rimane la possibilità di estrazione e rinserimento.

La geometria a esagono è stata scelta per un buon attrito tra pezzo stampato e magnete e riduzione degli sforzi tra i layer.



Figura 48. Immagine dell'angolare con i fori per le viti M3 e per i magneti

Il pannello frontale *[Fig.49]* è realizzato in modo da attaccarsi tramite dei magneti al corpo della camera, Questa soluzione combina, infatti, la facilità di posizionamento guidato con una forza di ritenzione ideologicamente adeguata a garantire il contenimento e la stabilità della camera.

Per ottimizzare la gestione dell'animale e garantire il massimo contenimento biologico/fisico, l'accesso alla camera avviene tramite un sistema a disco rotante. Rispetto a una chiusura a cerniera tradizionale, questo meccanismo consente di parzializzare l'apertura: l'operatore può così eseguire le necessarie procedure operative garantendo un controllo costante del varco e azzerando quasi del tutto il rischio di fuga.

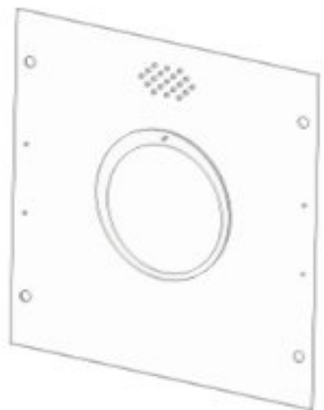


Figura 49. Immagine delle parti trasparenti della camera calda per il monitoraggio degli animali



Figura 50. Immagine frontale del PMMA con i bottoni per i magneti inseriti

Il bottone che ospita il magnete, che si accoppierà su quello inserito all'interno dell'angolare, viene incastrato all'interno del pannello frontale in PMMA *[Fig.50]*. Possiamo notare anche qui la sede del magnete esagonale e la possibilità di estrarre il magnete tramite il foro centrale frontale (dimensione adeguata per far passare la punta della brugola per vite M3) *[Fig.51 e Fig.52]*.

Il supporto per i comandi e lo schermo *[Fig.53, Fig. 54 e Fig.55]* è posizionato superiormente e centralmente alla camera calda, in questa maniera è possibile posizionare sia di fianco che al di sopra altre camere calde.Il case dello schermo è robusto (per urti accidentali) ed inclinato (per una più comoda leggibilità).



Figura 51. Immagine posteriore del bottone per l'alloggiamento dei magneti nel PMMA



Figura 52. Immagine anteriore del bottone per l'alloggiamento dei magneti nel PMMA

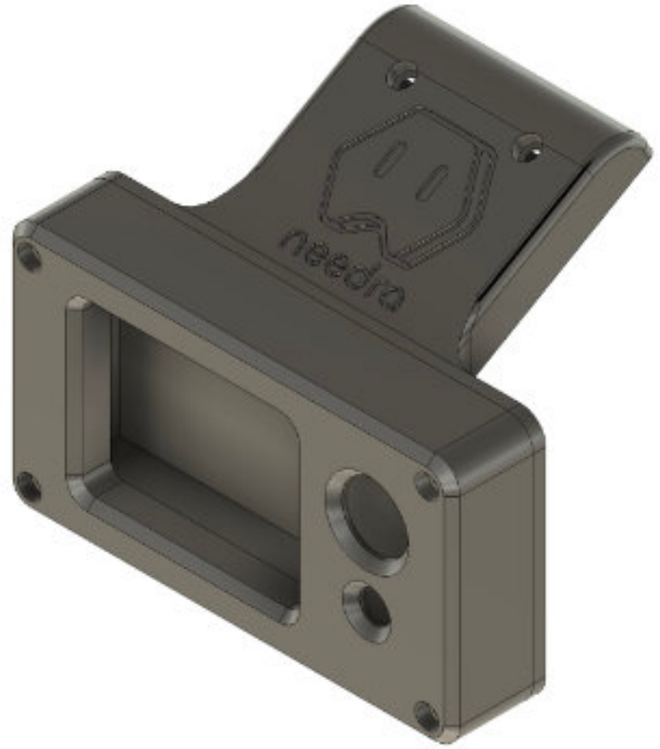


Figura 53. Immagine del case e del supporto dello schermo



Figura 54. Maschera per schermo e comandi

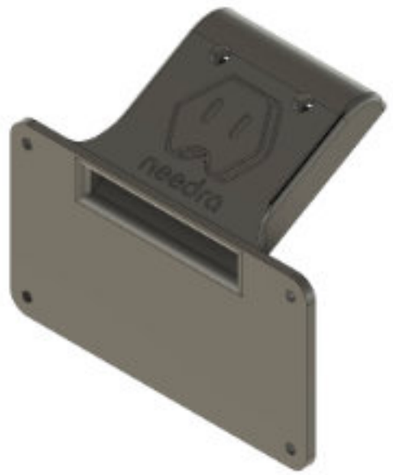


Figura 55. Braccetto di supporto che prevede il passaggio per i fili elettrici



Figura 56. Esploso assonometrico del piedino della camera calda composto da due rondelle, vite centrale e il piedino vero e proprio

Altri componenti molto importanti sono i piedini *[Fig.57]*, costituiti da una vite, una rondella a incastro (per stabilizzare lo sforzo) una seconda rondella (per distribuire la pressione) un dado (per poterlo fissare alla parete inferiore) ed un esagono filettato che permette la regolazione dell'altezza. Questo componente è importante per 4 motivi:

· Distaccare la macchina dal piano dello scaffale (da sporcizia, polvere e conduzione di temperatura)

· Evitare che ci siano oscillazioni indesiderate per un piano poco regolare

· Creare spazio per il passaggio delle mani per lo spostamento

· In caso di sovrapposizione di più camere calde lasciare lo spazio per non appoggiarsi alla parte superiore dell'attacco dello schermo

Come già detto in precedenza le intercapedini generati dallo spessore degli angolari e delimitati dai 2 laminati che compongono la parete, vengono utilizzati per il passaggio dei fili elettrici, per esser convogliati sul posteriore per poi dirigersi verso la scatola di derivazione. La scatola di derivazione *[Fig.59]* è stata progettata con delle sedi per gli inserti a fusione che permetteranno di fissare la componentistica elettronica (Scheda Breakout con Arduino inserito, relè e la morsettiera) e la chiusura del coperchio. Inoltre sono già presenti le sedi per le viti passanti all'interno della parete per il fissaggio e i fori per il passacavo, l'interruttore e il connettore per l'alimentazione elettrica *[Fig.60]*. È possibile utilizzare un qualsiasi passacavo presente sul mercato, ma dato che per il progetto è stato pensato di avvolgere i fili con una maglia per l'elettronica, è stato disegnato anche un passacavo *[Fig.61]* interamente filettato con dadi per il serraggio, in maniera da poter fascettare la calza al di sopra del passacavo, nascondendo e proteggendo cosi tutti i fili.



Figura 59. Immagine posteriore della scatola di derivazione composta dai fori per le viti e per il foro e bocchetta per il passaggio dei cavi



Figura 57. Immagine del piedino montato insieme nelle sue parti



Figura 58. Immagine del piedino montato insieme nelle sue parti sezionato



Figura 60. Immagine della scatola di derivazione composta dai fori per le viti e per il foro e passacavi

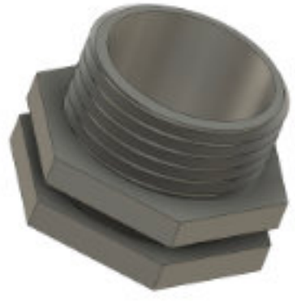


Figura 61. Bocchetta per il passaggio dei cavi



Figura 62. Vista frontale per l'alloggiamento per il sensore di umidità della camera calda

Sono stati disegnati infine tutti i supporti per la sensoristica, con l'obbiettivo non solo di sostenerla ma anche di creare scocche volte a proteggerle senza coprire le zone sensibili per la corretta lettura dei valori.

Come detto al Capitolo 2.4.1 la copertura della parete trasparente è importante per la corretta degenza di una specie. Per questo abbiamo pensato a degli attacchi magnetici dove fissare le estremità dei tessuti con delle viti passanti *[Fig.67]*. In questo modo risulta più ordinato e aderente alla camera il tessuto per oscurare.

Dopo l'analisi dei modelli, la maniglia è stata ridisegnata poichè presentava una geometria risultata poco ergonomica, nella nuova versione vi è una geometria che rientra maggiormente per permettere una presa migliore *[Fig.66]*.

Un modulo realizzato è il supporto per far scorrere i vassoi *[Fig.65]* per le deiezioni, che richiamano la geometria esagonale del frame, con 2 sporgenze utili a sostenere e far scorrere 2 vassoi. Ne servono almeno 4.

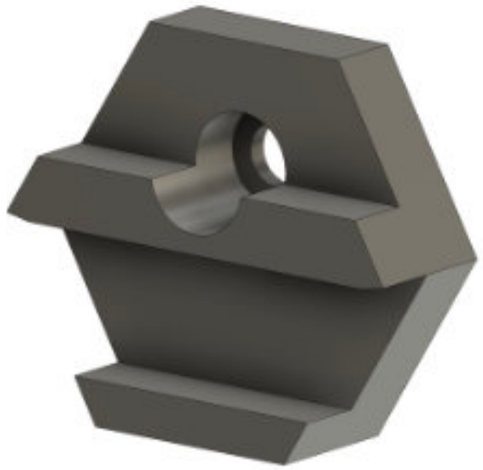


Figura 65. Immagine (vista frontale) del modulo per l'inserimento del vassoio mediante scorrimento



Figura 66. Immagine della versione definitiva della maniglia



Figura 63. Immagine del supporto per le sonde termiche



Figura 64. Immagine del supporto per il sensore dei gas



Figura 67. Immagine del modulo tessuto nelle sue due parti da cui è composto

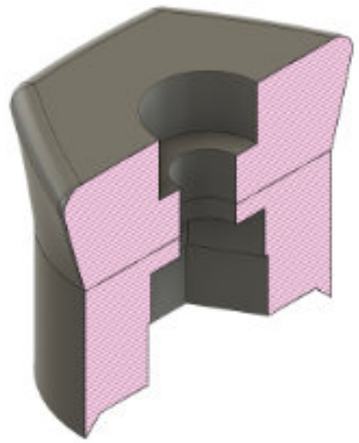


Figura 68. Immagine e accoppiamento del modulo tessuto nelle sue due parti da cui è composto, sezionato

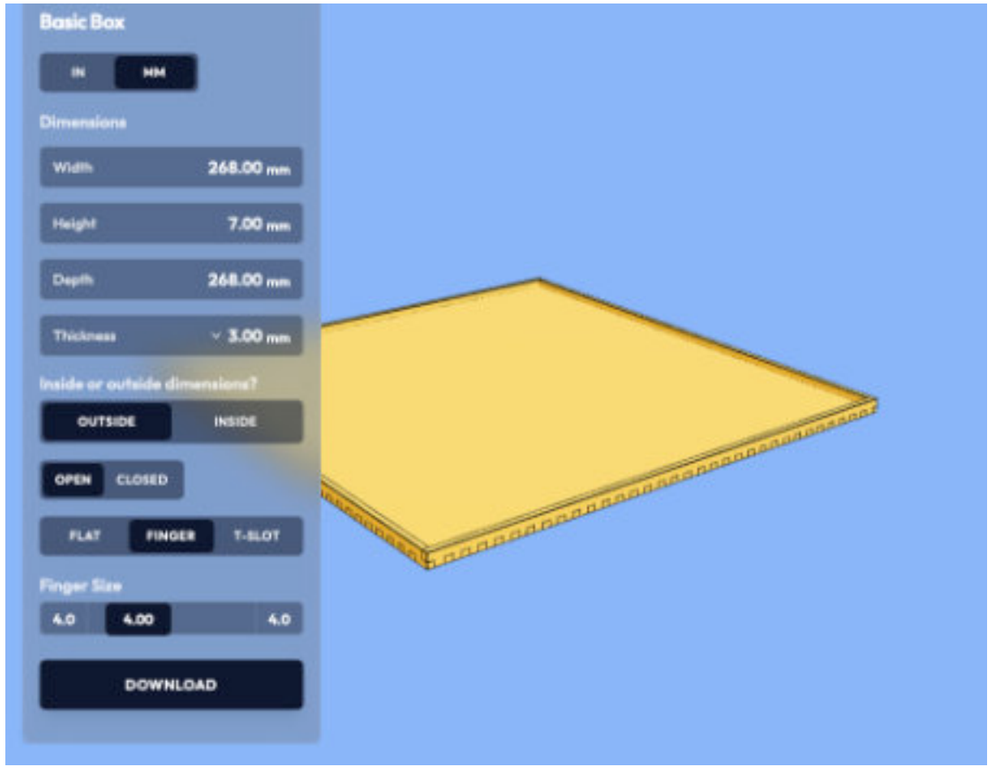


Figura 69. Immagine della vista tridimensionale del file .dxf del vassoio ottenuto tramite Maker Case

Per i vassoi è richiesta una flessibilità geometrica direttamente dipendente dal dimensionamento della camera calda, per questo cercare e determinare un vassoio presente sul mercato ha poco senso e non garantirebbe una buona copertura della base per diverse grandezze.

Per questo è stato scelto di sfruttare il taglio laser (al giorno d'oggi sempre più accessibile e l'utilizzo è reperibile in ambienti maker come FabLab) utilizzando un programma online makercase.com, in cui è possibile inserire le dimensioni del vassoio e scaricare direttamente un file .dxf leggibile dalla macchina a taglio laser, e ottenere così listelli e parti incollabili fra di loro.

9.3 - Ingegnerizzazione

Durante tutta la fase di progettazione abbiamo adottato la metodologia del simultaneous engineering.

Superando il modello classico lineare di progettazione, questo modello ci ha permesso di valutare necessità e requisiti dei processi industriali direttamente durante la definizione delle geometrie. Questa scelta metodologica si è rivelata fondamentale per ridurre i tempi di sviluppo e per individuare tempestivamente eventuali problemi progettuali, permettendoci di ottimizzare il prodotto in corso d'opera anziché a posteriori.

Come già detto in precedenza, alcune scelte sono state prese in conseguenza alle necessità dell'associazione e del contesto di produzione (es. possibilità di inserire i magneti post processo per evitare fermi macchina), altre scelte invece, sono state prese in diretta conseguenza e considerazione della tecnologia utilizzata per la produzione (FDM).

In tutta la fase di modellazione infatti si è tenuto conto delle analisi del capitolo 6 (Tecnologia FDM nel processo di Design) tra cui limiti dettati dall'anisotropia dei pezzi finiti.

L'angolare è un componente cui ha obbligato la considerazione di questo limite, poichè richiede uno resistenza alle tensione nei 3 assi di sfornzo (giunzione al vertice delle pareti della camera calda).

Alla sfida di progettazione si è unita anche la necessità di ottimizzare al meglio la disposizione sul piatto. La soluzione è stata di disporre una base sufficiente per l' appoggio in modo da far sviluppare i 3 bracci in altezza (in modo da ottenere una direzione obliqua e non ortogonale alle sovrapposizioni dei layer, rispetto allo sforzo indotto dal serraggio delle viterie) e una lunghezza dei bracci stessi tale da poterli sovrapporre nel piano di stampa e garantire un buon appoggio dei pannelli. *[Fig.70]*

Anche la vite centrale per i piedini presenta una prticolare accortezza, ovvero un taglio longitudinale della filettatura per permettere l'appoggio sul piano di stampa con l'obbiettivo di ottenere una filettatura più resistente. *[Fig.71]*

Di seguito vengono riportati i disegni tecnici a puro scopo informativo, essenso intestati su formato di intestazione della tesi le scale di riferimento non vengono rispetatte in quanto i pezzi sono stati rappresentati nativamente su fogli formato A3.

Per capire come il risultato della camera calda potesse essere dal vivo, abbiamo realizzato dei render che rappresentassero più realisticamente possibile i materiali e texture scelti.



Figura 70. Immagine delle staffe all'interno dello slicer BambuLab

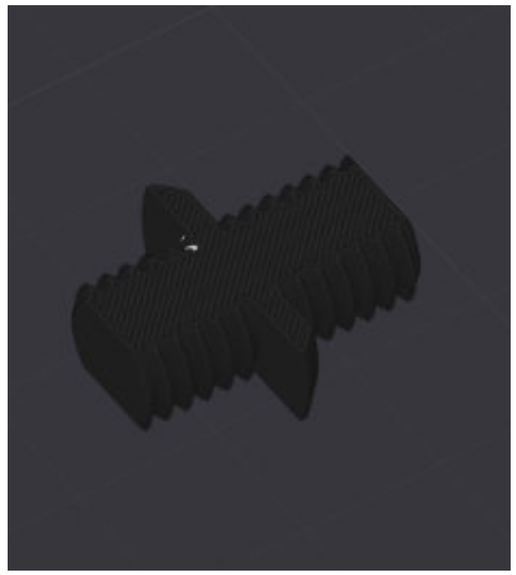
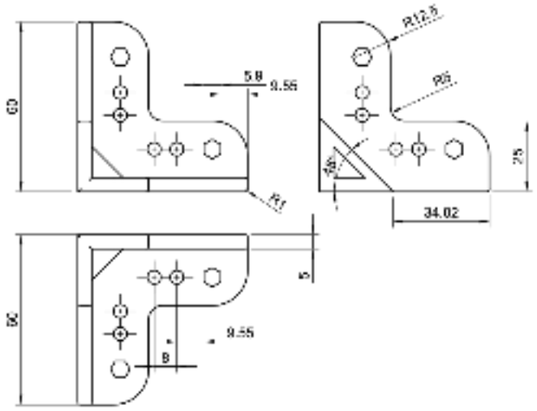
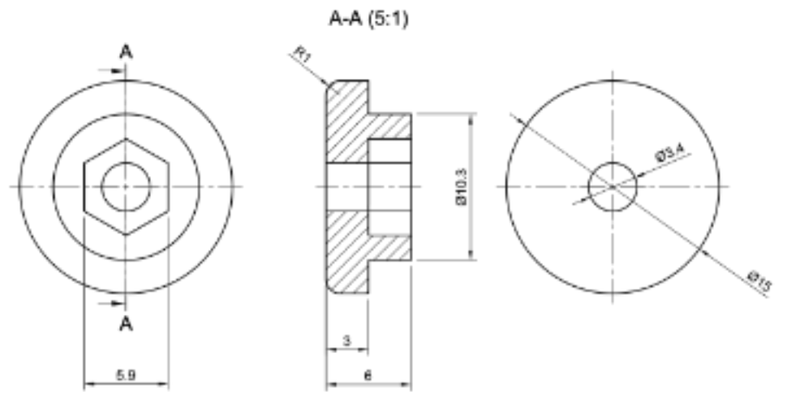


Figura 71. Immagine della vite del piedino all'interno dello slicer BambuLab

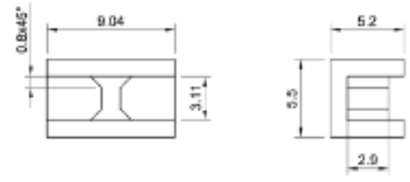


			17/08/26	
		Angolare		
				1/16

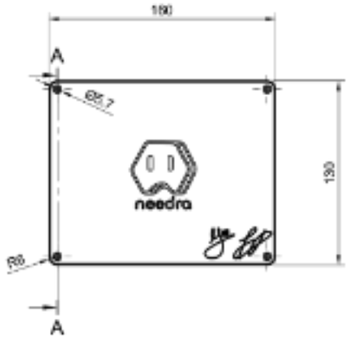
			17/08/26	
		Bottone tessuto magnetico		
				2/16

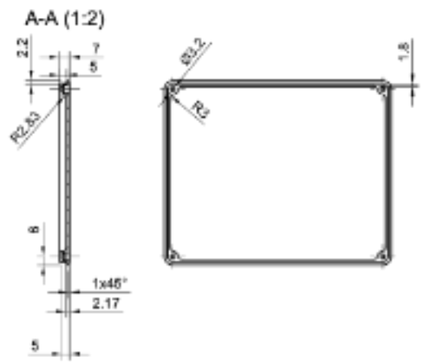


			17/08/26	
		Bottone magnete pannello frontale		
				3/16

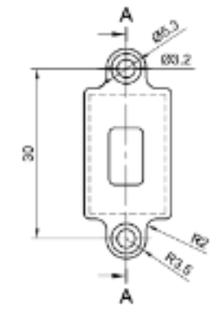


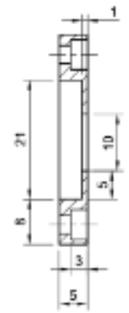
			17/08/26	
		Clip frame		
				4/16



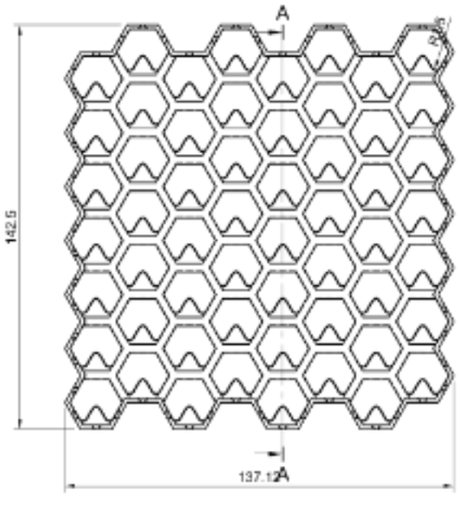


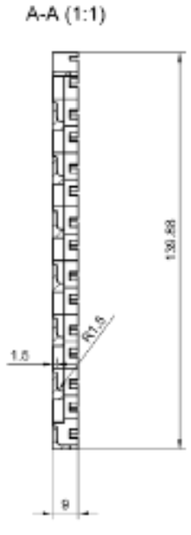
Dept.	Customer reference	Created by: Mariapia Francesca Pastalin Lorenzo 17/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Coperchio scatola	Draft No.	
			Rev. / Date of issue	Sheet 5/16



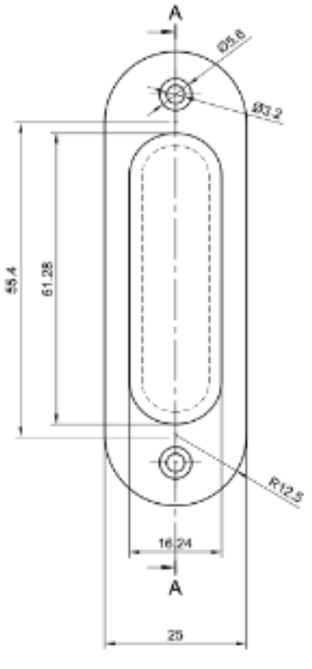


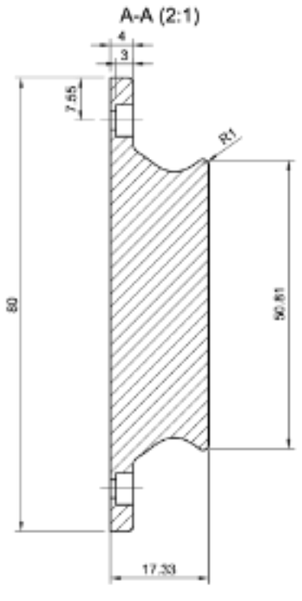
Dept.	Customer reference	Created by: Mariapia Francesca Pastalin Lorenzo 18/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Supporto sensore qualità aria	Draft No.	
			Rev. / Date of issue	Sheet 7/16



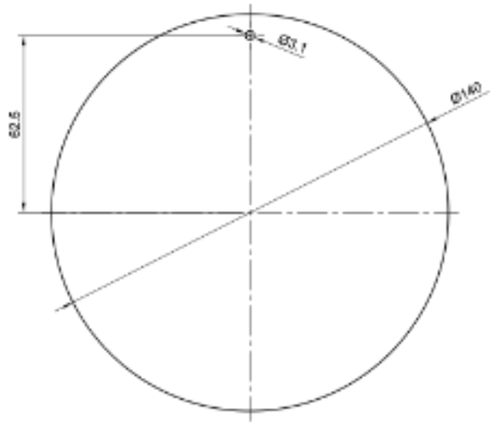


Dept.	Customer reference	Created by: Mariapia Francesca Pastalin Lorenzo 17/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Frame	Draft No.	
			Rev. / Date of issue	Sheet 6/16



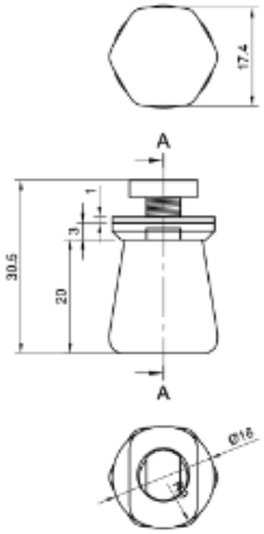


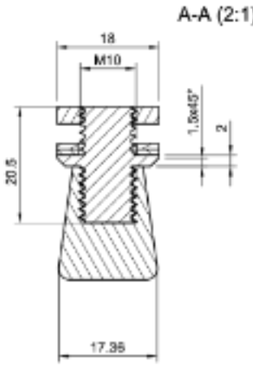
Dept.	Customer reference	Created by: Mariapia Francesca Pastalin Lorenzo 18/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Maniglia	Draft No.	
			Rev. / Date of issue	Sheet 8/16



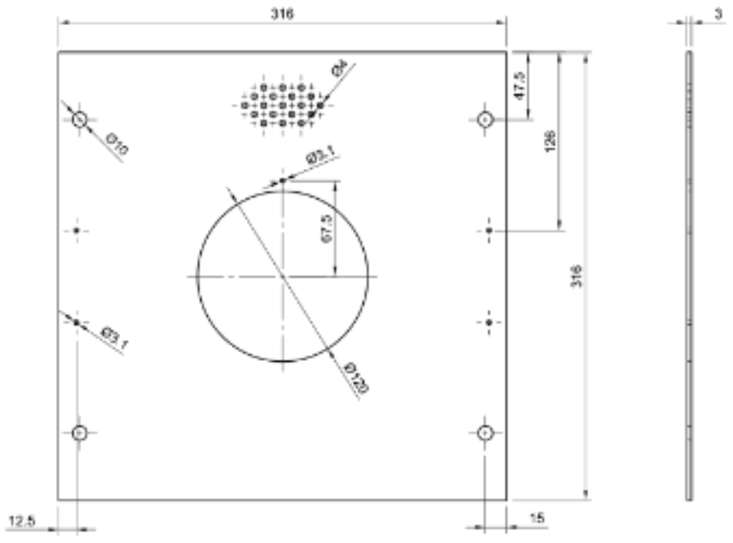


Dwgn.	Customer reference	Created by [Marcoux Francesco Position: Lecturers	18/08/26	Approved by
		Document type		Document status
		Title Obló		DWG No.
			Rev. / Date of issue	Sheet 9/16

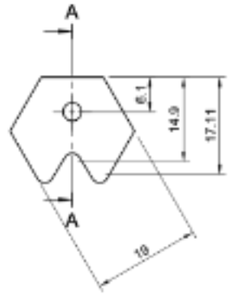


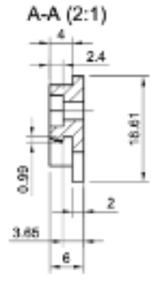


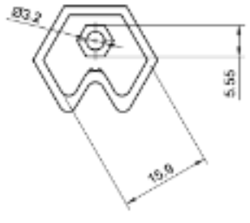
Dwgn.	Customer reference	Created by [Marcoux Francesco Position: Lecturers	18/08/26	Approved by
		Document type		Document status
		Title Assieme piedini regolabili		DWG No.
			Rev. / Date of issue	Sheet 11/16



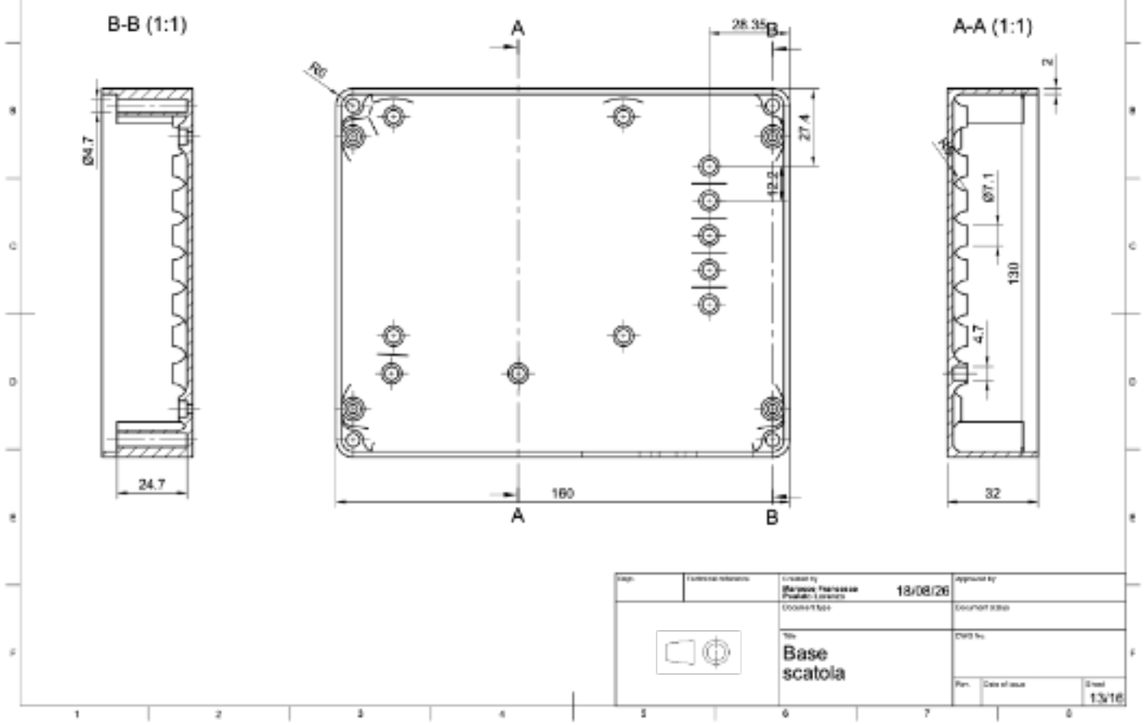
Dwgn.	Customer reference	Created by [Marcoux Francesco Position: Lecturers	18/08/26	Approved by
		Document type		Document status
		Title Pannello frontale		DWG No.
			Rev. / Date of issue	Sheet 10/16



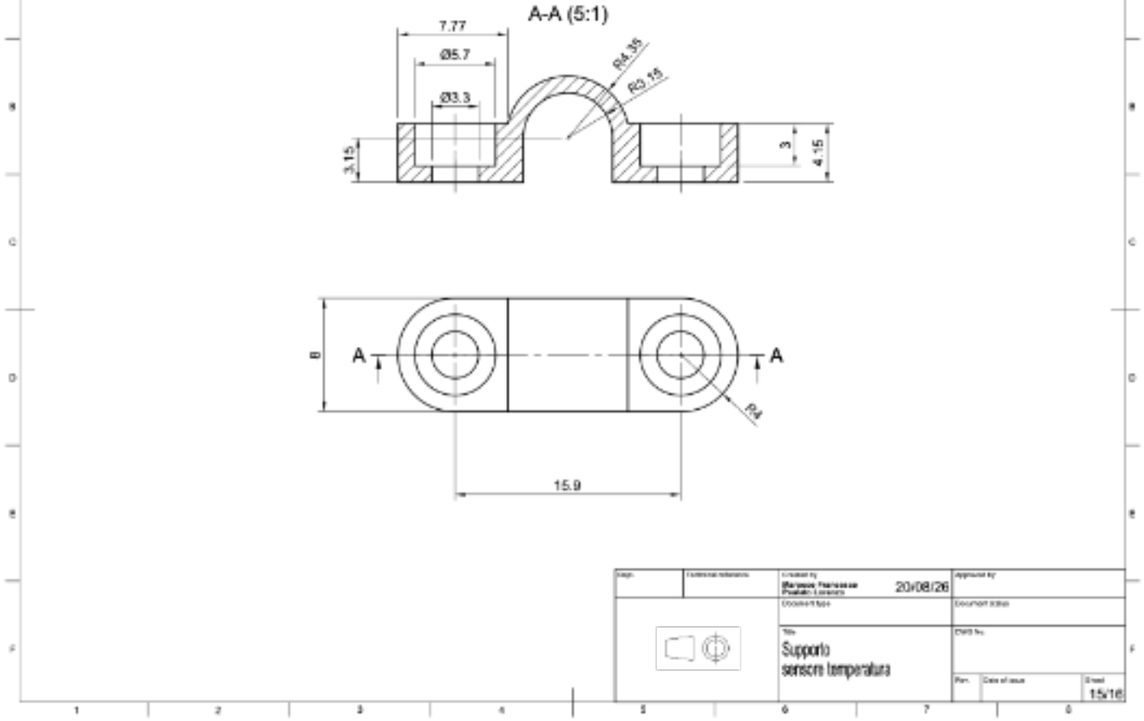




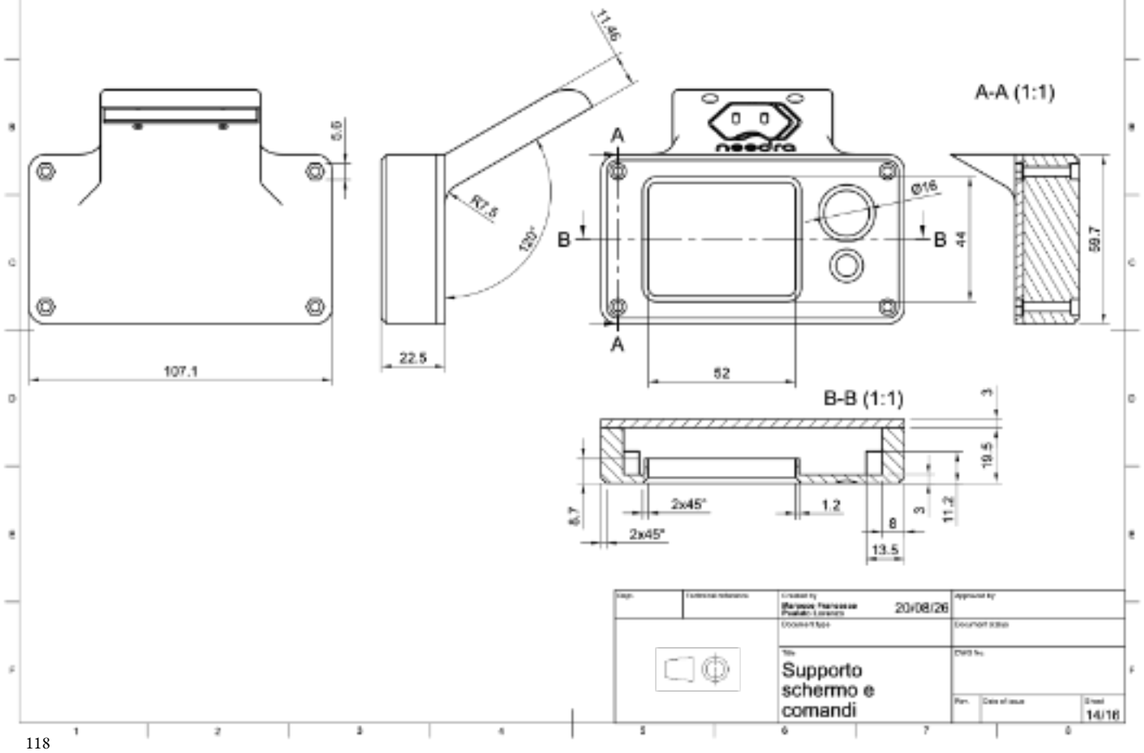
Dwgn.	Customer reference	Created by [Marcoux Francesco Position: Lecturers	18/08/26	Approved by
		Document type		Document status
		Title Pin modulare		DWG No.
			Rev. / Date of issue	Sheet 12/16



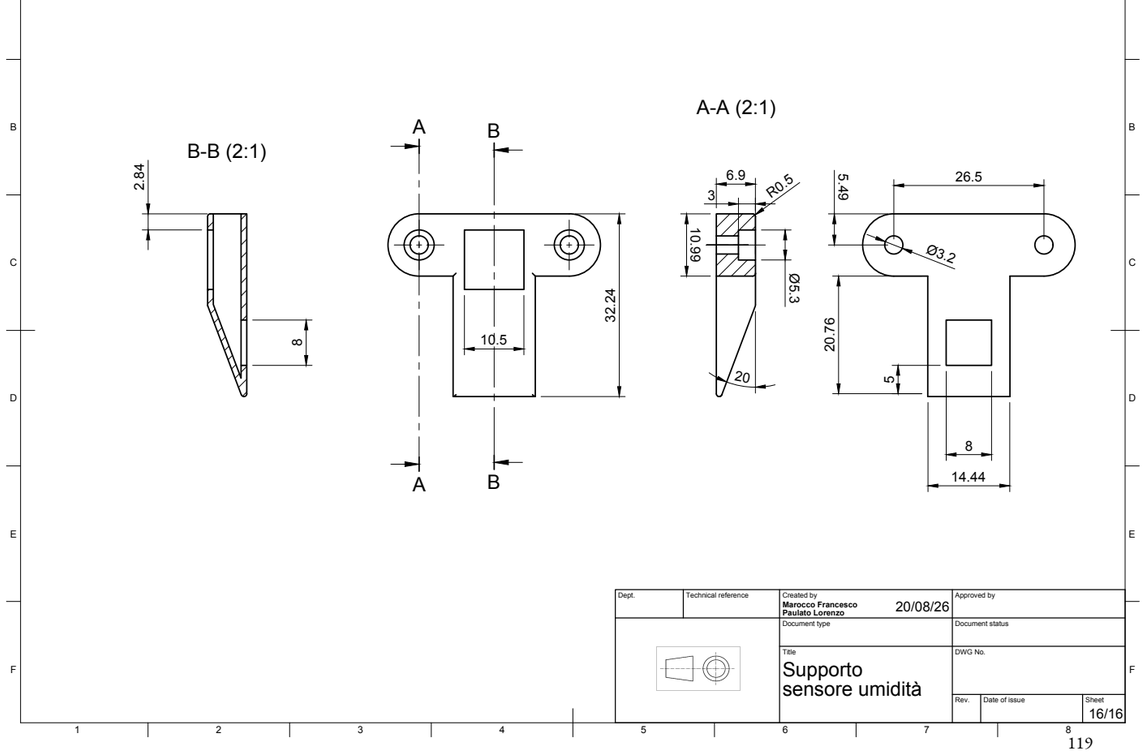
Dept.	Technical reference	Created by: Marocco Francesco, Paulato Lorenzo — 18/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Base scatola	DWG No.	
			Rev.	Date of issue: — Sheet: 13/16



Dept.	Technical reference	Created by: Marocco Francesco, Paulato Lorenzo — 20/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Supporto sensore temperatura	DWG No.	
			Rev.	Date of issue: — Sheet: 15/16



Dept.	Technical reference	Created by: Marocco Francesco, Paulato Lorenzo — 20/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Supporto schermo e comandi	DWG No.	
			Rev.	Date of issue: — Sheet: 14/16



Dept.	Technical reference	Created by: Marocco Francesco, Paulato Lorenzo — 20/08/26	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title: Supporto sensore umidità	DWG No.	
			Rev.	Date of issue: — Sheet: 16/16

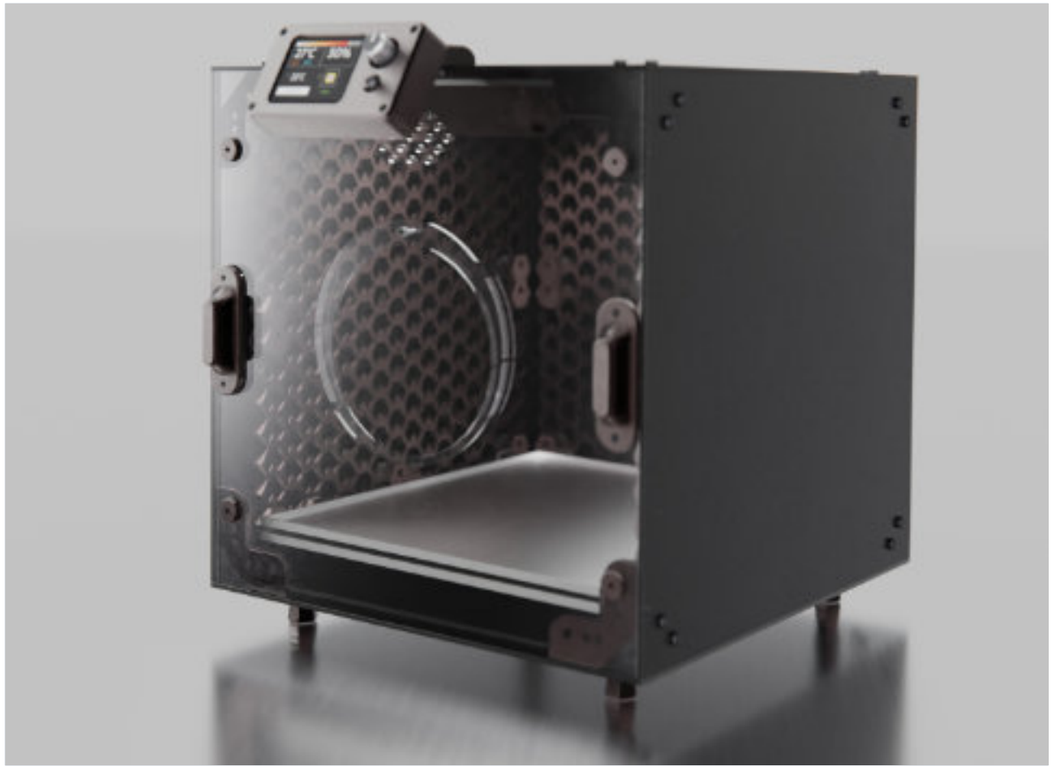


Figura 72. Render del sistema camera calda completo



Figura 73. Render dello schermo all'interno del supporto



Figura 74. Render del sistema camera calda completo nella parte posteriore

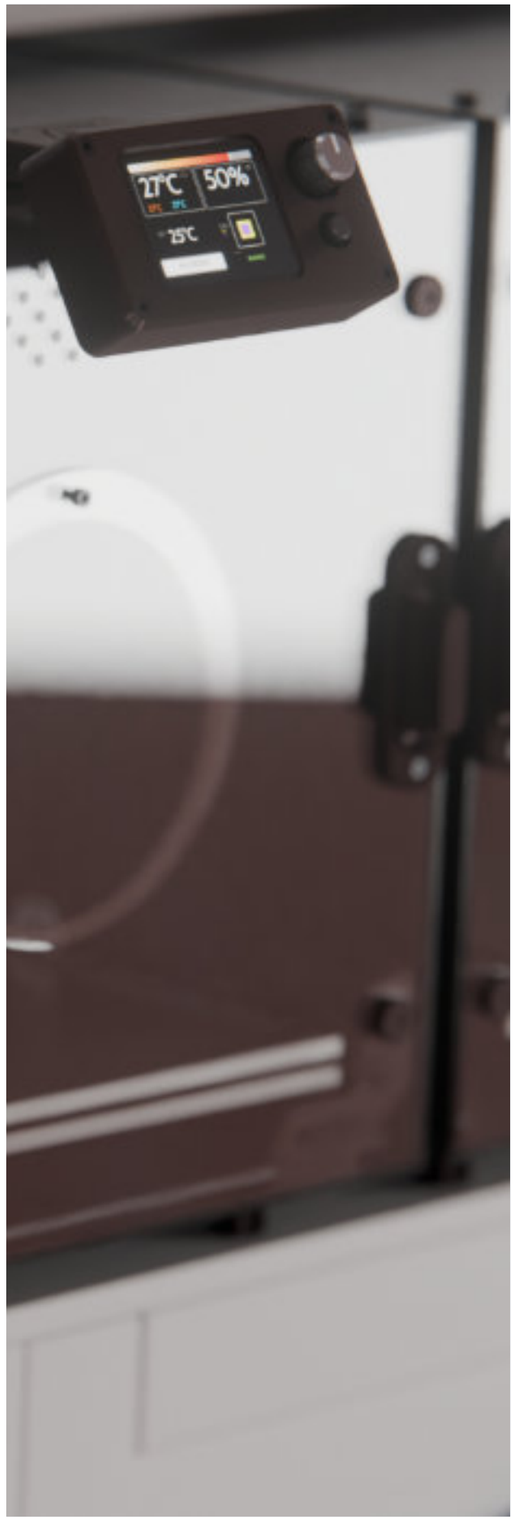


Figura 75. Render camera calda ambientata

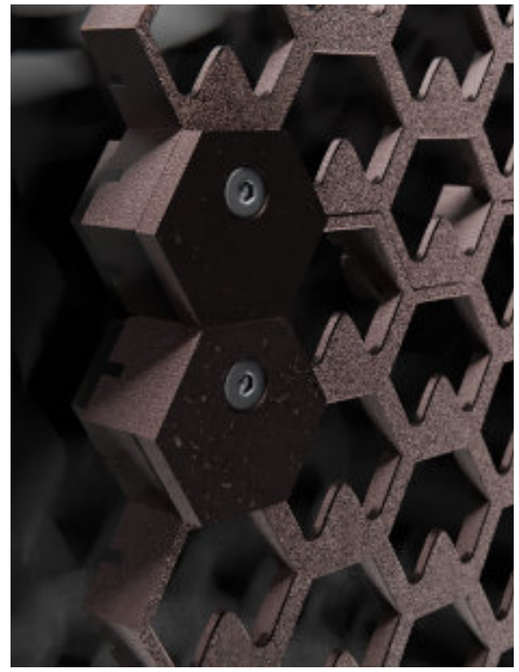


Figura 76. Render degli angolari e del frame interno della camera calda



Figura 77. Render delle staffe angolari del sistema camera calda

9.4 - Prototipazione e Produzione

Diversamente dai test empirici condotti nelle fasi precedenti, questo prototipo implementa la configurazione architetturale completa del sistema. Tale livello di integrazione costituisce un punto di svolta per la verifica delle tolleranze e delle geometrie sviluppate. Il banco di prova consente infatti di confermare l'idoneità delle forme ai fini della producibilità e del montaggio, ovvero di evidenziare eventuali revisioni geometriche necessarie per i successivi sviluppi e miglioramenti del sistema.

9.4.1 - Prototipo Funzionale

Diversamente dai test empirici condotti nelle fasi precedenti, questo prototipo implementa la configurazione architetturale completa del sistema. Tale livello di integrazione costituisce un punto di svolta per la verifica delle tolleranze e delle geometrie sviluppate. Il banco di prova consente infatti di confermare l'idoneità delle forme ai fini della producibilità e del montaggio, ovvero di evidenziare eventuali revisioni geometriche necessarie per i successivi sviluppi e miglioramenti del sistema.

9.4.2 - Processo di realizzazione, Materiali e Componentistica

Inizieremo esaminando il passaggio dai modelli CAD 3D alla scelta strategica tra tecnologie additive, come FDM e lavorazioni sottrattive tradizionali. Valuteremo la compatibilità dei materiali in base alle sollecitazioni meccaniche e termiche richieste dal progetto. Verranno poi affrontate le principali criticità operative, tra cui la tolleranza dimensionale, l'ottimizzazione dei supporti di stampa e l'isotropia dei componenti. Questo percorso integrato permetterà di trasformare l'idea concettuale in un prototipo perfettamente rispondente ai requisiti di test dell'oggetto.

9.4.3 - Struttura esterna contenimento termico

La struttura di base della camera calda è stata realizzata con un materiale sostitutivo rispetto all'HDPE previsto in origine, principalmente per ragioni economiche e per le difficoltà operative legate alla sua lavorazione. Di conseguenza, si è optato per l'impiego di pannelli in MDF da 3 mm. Pur trattandosi di una scelta alternativa, l'MDF si rivela idoneo sia per le lavorazioni manuali, sia per il contributo all'isolamento termico del sistema.

La coibentazione è stata ottenuta ricavando un'intercapedine all'interno delle pareti, basandosi sul principio di isolamento dei thermos, che sfrutta un cuscinetto d'aria stagnante per minimizzare le dispersioni di calore. Sia le pareti interne sia quelle esterne sono state quindi realizzate in MDF sagomato e forato a mano, mantenute alla corretta distanza mediante appositi inserti in PETG (descritti nel dettaglio nella Sezione 9.3.2). Questo approccio ha inoltre permesso di valutare, in un'ottica *open source*, la reale fattibilità di una realizzazione interamente artigianale della struttura, confermandone la piena validità.

9.4.4 - Componenti realizzati con FDM

I componenti con geometrie complesse sono realizzati esclusivamente mediante l'impiego della tecnologia FDM. Tale scelta è legata proprio alla loro complessità strutturale, che ne renderebbe la produzione tramite tecnologie tradizionali estremamente onerosa, come approfondito nel Capitolo 6. Il materiale individuato in fase di progettazione era l'rPETG, un polimero riciclato ottenuto dagli scarti della stampa 3D. Sebbene questo rimanga il materiale di riferimento per il progetto, per la realizzazione del prototipo si è preferito impiegare un filamento già disponibile in laboratorio; l'acquisto del lotto minimo di rPETG (pari a 2 kg) sarebbe infatti risultato eccessivo rispetto al volume complessivo dei pezzi da stampare.

La scelta, infatti è ricaduta sull'utilizzo del PETG marca eSun , la motivazione di questa scelta è stata puramente economica, poichè il filamento era già in nostro possesso.

Di seguito verranno mostrati i pezzi inseriti nello Slicer *[Fig.78]*, l'intento in questa presentazione è di descrivere il numero di pezzi da stampare per ogni modello, calcolandone di conseguenza il consumo e il tempo di stampa, ma è scontato che in termini applicativi si possono stampare diversi modelli simultaneamente (spazio del piatto permettendo) per ottimizzare al meglio i tempi di stampa.

In base alla propria macchina, inoltre, ci posso essere piccole variazioni di tempistiche e consumi di materiale extra per via della preparazione alla lavorazione (spurgo materiale, taratura del flusso di stampa, livellamento del piatto, ecc..).

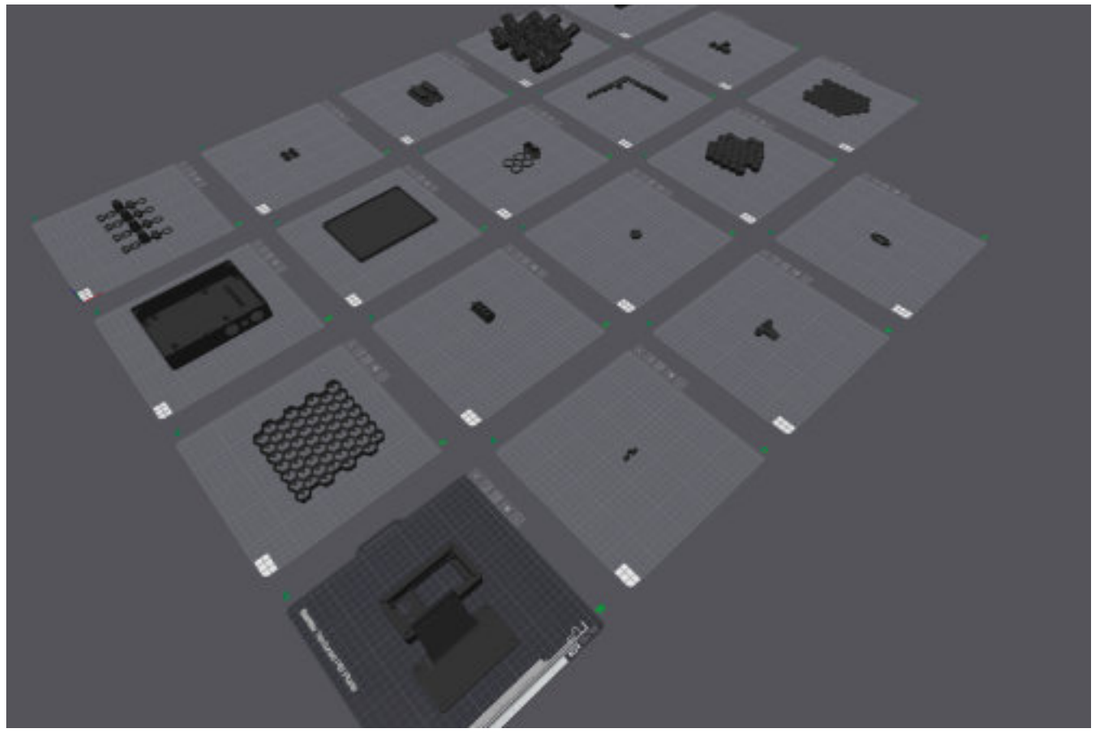


Figura 78. Immagine di tutti i piatti di stampa necessari per tutto il progetto all'interno di Bambu Studio

Componente	Quantità	Materiale Adottato	Temp. Ugello/Piano	Infill (%) & Pattern	Pareti	Note
Frame ad esagoni	12	PETG bk	240°C	100%	5	Per l'alloggiamento moduli
Distanziatori frame femmina	36	PETG bk	240°C	10%	3	A contatto con le p interne
Distanziatori frame maschio (tappo)	36	PETG bk	240°C	10%	3	Per il serraggio dei alle pareti
Scocca schermo	1	PETG bk	240°C	5%	3	Contiene lo schern
Supporto schermo	1	PETG bk	240°C	5%	3	Fissa in posizione l schermo sulla scoc
Piedini	4	PETG bk	240°C	15%	3	Regolabili per il sollevamento dell'i struttura
Bottoni magnetici	4	PETG bk	240°C	5%	3	Per la chiusura del parete trasparente
Maniglie	2	PETG bk	240°C	5%	3	Agevolare le opera apertura e chiusur
Angolari	8	PETG bk	240°C	100%	5	Giunzione dei 10 p
Supporto sonde	2	PETG bk	240°C	5%	3	Fissaggio in posizi delle sonde termici
Supporto sensori	2	PETG bk	240°C	5%	3	Posizione nascosti difficili da raggiung gli animali
Scatola di derivazione	1	PETG bk	240°C	5%	3	Separato dal resto dell'ambiente di de
Coperchio scatola di derivazione	1	PETG bk	240°C	5%	3	Separato dal resto dell'ambiente di de
						Assicura il passagg cavi evitando

Frame

Tempo di stampa: 1h 12’

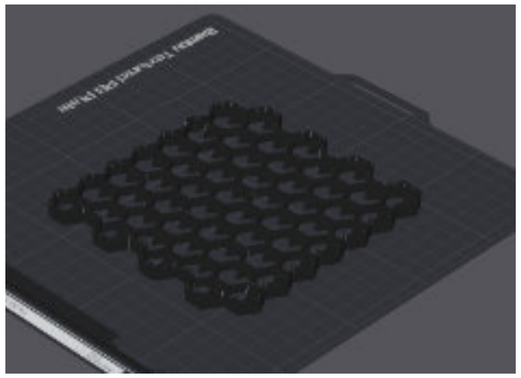
Materiale consumato: 30g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 12 (4 per ogni parete)

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: /

Percentuale Infill: 100%



Clip Frame

Tempo di stampa: 22’

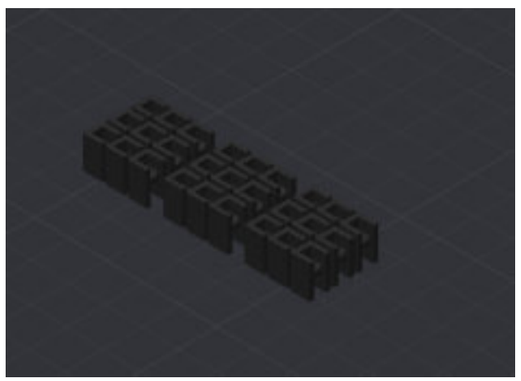
Materiale consumato: 5,65g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 3 (1 per parete)

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: /

Percentuale Infill: 100%



Distanziatori del Frame Femmina

Tempo di stampa: 1h 47’

Materiale consumato: 48,11g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Distanziatori del Frame Maschio

Tempo di stampa: 1h 25’

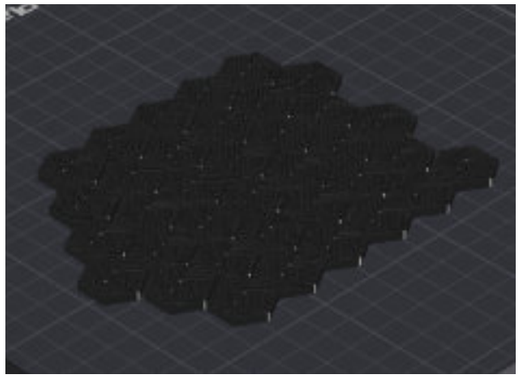
Materiale consumato: 33g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Pin

Tempo di stampa: 12’

Materiale consumato: 4,59g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 4 (per supporti vassoio) + n° variabile in base alla necessità

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Supporti vassoio

Tempo di stampa: 23’

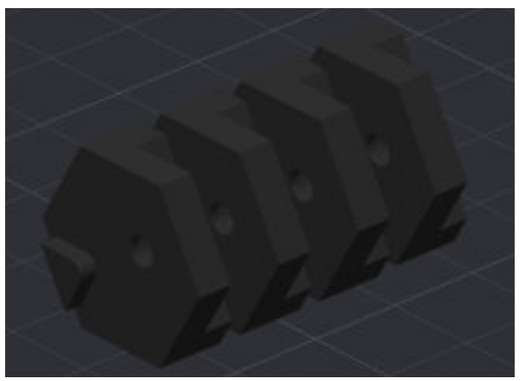
Materiale consumato: 5,55g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Modulo zanzariera

Tempo di stampa: 5’

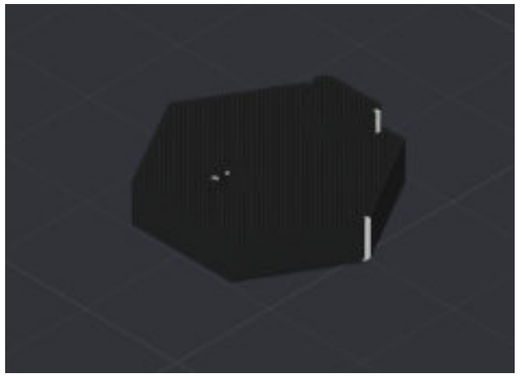
Materiale consumato: 1,25g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: variabile in base alla necessità

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Scatola di derivazione

Tempo di stampa: 2h 15’

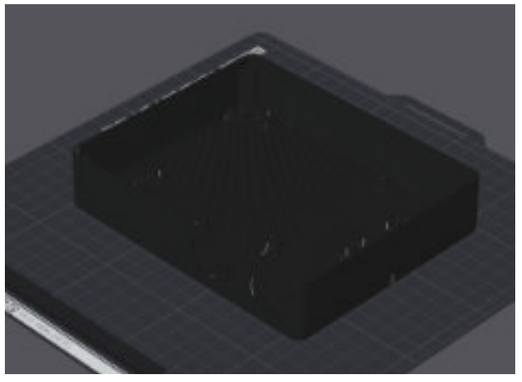
Materiale consumato: 85g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Coperchio della scatola di derivazione

Tempo di stampa: 1h 18’

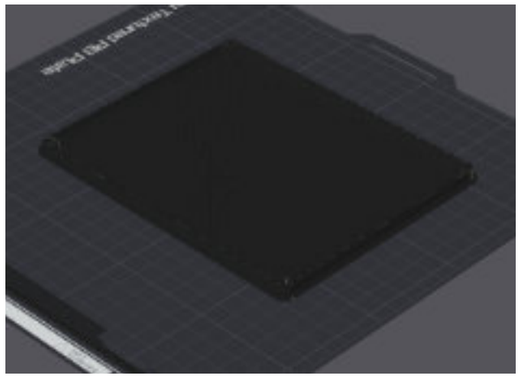
Materiale consumato: 49g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Passacavi

Tempo di stampa: 24’

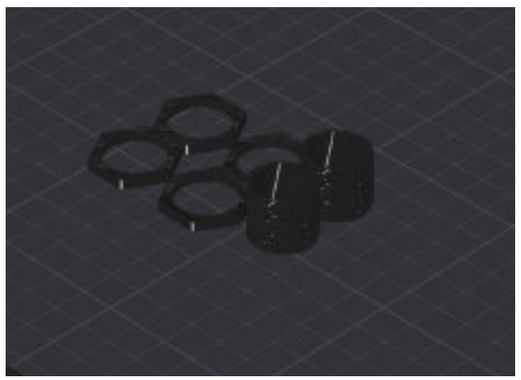
Materiale consumato: 5g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: /

Percentuale Infill: 100%



Attacchi per tessuto

Tempo di stampa: 27’

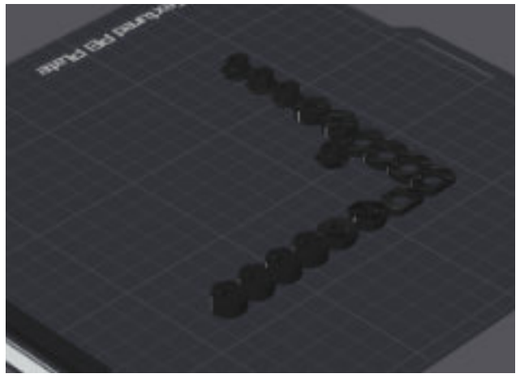
Materiale consumato: 8,84g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Maniglie

Tempo di stampa: 32’

Materiale consumato: 16,95g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Angolari

Tempo di stampa: 8h 28’

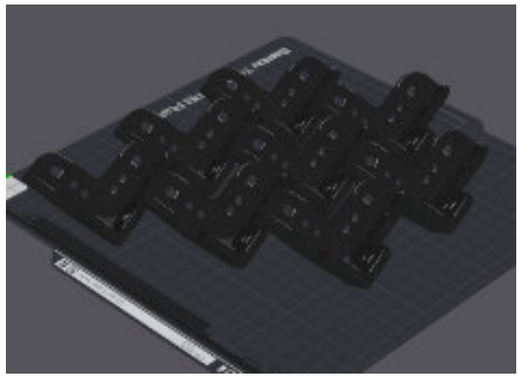
Materiale consumato: 241,57g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 5

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 15%



Bottoni per magneti

Tempo di stampa: 8’

Materiale consumato: 3.22g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Piedini regolabili

Tempo di stampa: 1h 2’

Materiale consumato: 21.6g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Schermo

Tempo di stampa: 2h 7’

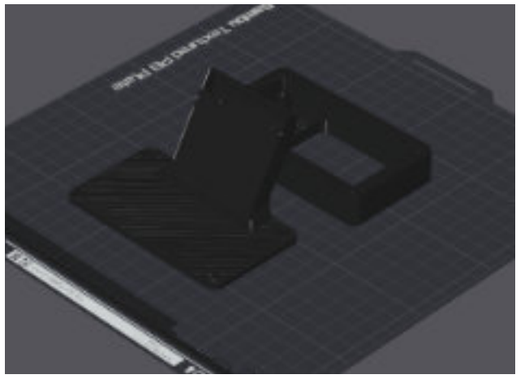
Materiale consumato: 56,35g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Supporto sensore umidità

Tempo di stampa: 8’

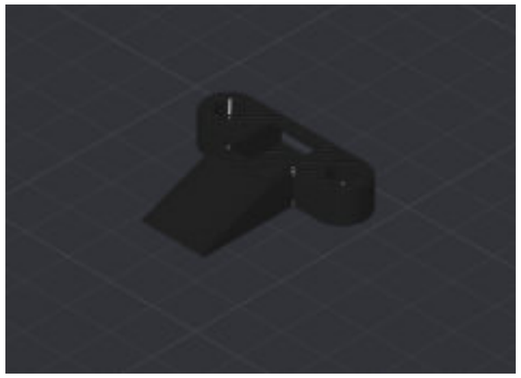
Materiale consumato: 2,59g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Supporto sensore qualità dell’aria

Tempo di stampa: 6’

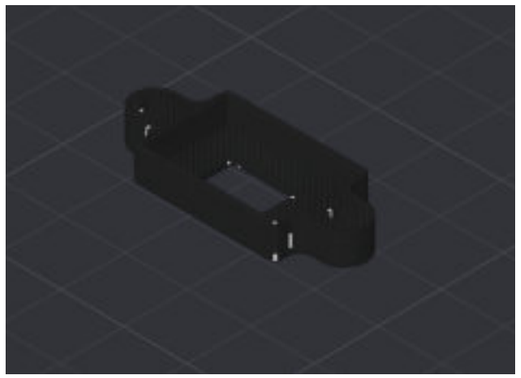
Materiale consumato: 1,35g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Supporto sensore temperatura

Tempo di stampa: 5 ’

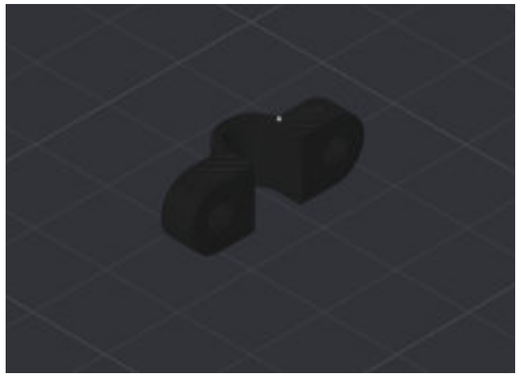
Materiale consumato: 0.86g

Numero di cicli di stampa di questo piatto: 1

Numero pareti: 3

Tipologia Infill: giroide

Percentuale Infill: 10%



Di seguito, la Figura 100 mostra la panoramica completa di tutti i componenti realizzati mediante fabbricazione additiva. Nell'immagine sono visibili sia gli elementi strutturali principali sia gli inserti di giunzione, posizionati per evidenziare la qualità superficiale e il grado di definizione geometrica ottenuti prima della fase di assemblaggio. Si è deciso di prestampare i componenti prima delle attività sul campo, così da ottimizzare le tempistiche e simulare nel modo più fedele possibile il processo di autoproduzione e montaggio.





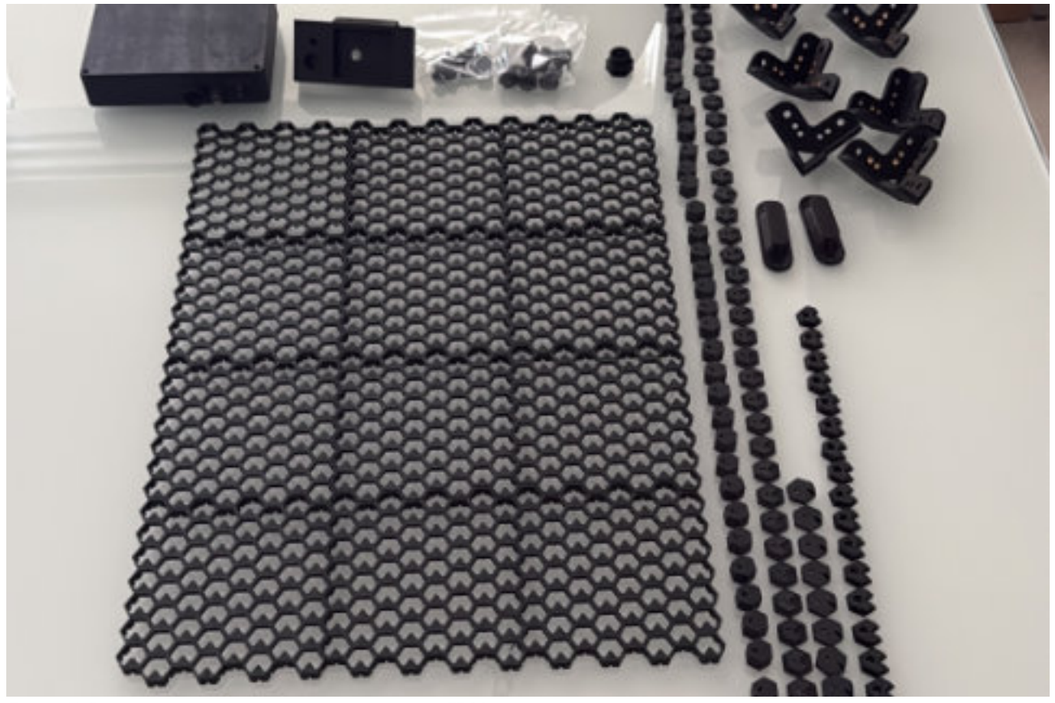


Figura 100. Panoramica di tutte le parti stampate con tecnologia FDM

9.4.5 - Calcolo costo produzione FDM

Durante il corso di Modello virtuale del corso di Design e Industrializzazione, abbiamo appreso la metodologia e le formule necessarie affinché si riesca a identificare il costo di produzione delle parti realizzate con tecnologia FDM.

La formula completa permette di quantificare quindi i costi della stampa e a sua volta è composta da diversi elementi che insieme concorrono verso lo stesso obiettivo.

La formula completa è:

$Ctot = Cmat + Cele\smile + Csta + Cmac + Cpost$

$Cmat$: costo dei materiali utilizzati nella produzione

$Cele\smile$: costo dell'elettricità consumata durante il processo di produzione

$Csta$: costo del personale impiegato per la gestione e il monitoraggio .

$Cmac$: costo dell'utilizzo della macchina, inclusi ammortamento e manutenzione.

$Cpost$: costi di post processo

Costo Materiali

Per la parte del calcolo del prezzo totale del materiale di stampa (C_{mat}) è necessario considerare la totalità delle masse e dei costi di ogni componente per poter arrivare ad un valore che soddisfi tutto il processo:

$C_{mat} = m_{part} \cdot MP_{part} + m_{sup\,p} \cdot MP_{sup\,p}$

m_{part} : massa del materiale utilizzato per la parte

MP_{part} : costo del materiale utilizzato per la parte

$m_{sup\,p}$: massa del materiale utilizzato per i supporti

$MP_{sup\,p}$: costo del materiale utilizzato per i supporti

Come risultato della formula ottenuto un valore di 27,10€.

Costo Tempo di produzione

Per quantificare i tempi di produzione ($C_{dc\smile}$) è necessario scomporre quest'ultime nelle sue variabili ovvero, la quantità di energia impiegata e il relativo costo. Infine, la potenza consumata in Watt e il tempo totale di processo.

$C_{dc\smile} = E_0 \cdot E_P = P_0 \cdot t_0 \cdot E_P$

E_0: quantità di elettricità impiegata

E_P : costo dell'elettricità

P_0: potenza consumata (in Watt), potenza media

t_0: tempo totale del processo

Come risultato della formula ottenuto un valore di 1,03€.

Costo manodopera

Per il calcolo del costo della manodopera si procede nello stesso modo scomponendo nelle sue parti il valore totale. Si tiene conto del tempo imiegato dall'operatore per l'utilizzo della macchina considerando il costo operaio all'ora. A questo si aggiunge il numero di operai specializzati e si calcola il tempo totale di processo.

$C_{sta} = t_1 \cdot PPH \cdot k = \beta \cdot t_0 \cdot PPH \cdot k$

t_1 : tempo impiegato dall'operaio specializzato per le operazioni in macchina

PPH : costo operaio per ora

k : numero operai specializzati

t_0 : tempo totale del processo

β : coefficiente compreso fra 0 e 1 (tipicamente 5%) Come risultato della formula ottenuto un valore di 129,63 €.

Ammortamento

Si calcola poi l'ammortamento e quindi capire in quanti anni il valore economico può essere ammortizzato tenendo conto del tempo totale del processo e del costo orario della macchina.

$Cmac = t_0 \cdot MHR$

t_0: tempo totale del processo

MHR : costo orario macchina

A questo si aggiungono il deprezzamento medio annuo del sistema e i costi manutenzione.

$Cmac = t_0 \cdot MHR$

$MHR = (MD+MC+I)/OT$

MD : deprezzamento medio annuo del sistema

MC : costi manutenzione

I : interesse sul capitale investito

OT : tempo operativo del sistema durante l'anno

Semplificazione dei costi di ammortamento al 10% dei costi del materiale per permettere lo svolgimento dell'esercitazione.

Come risultato della formula ottenuto un valore di 15,13 €.

Post

Per la parte di post processo si utilizza questa formula che considera il prezzo per ogni specifica operazione.

$C\,post = \Sigma c\,post$

I valori specifici per ciascuna formula e il costo totale di tutti i componenti presenti all'interno della camera calda sono specificati in maniera approfondita nell'Appendice B.

Come risultato della formula ottenuto un valore di 2,40 €.

9.5 Making of: Fasi di fabbricazione, Lavorazione Manuale e Assemblaggio

Si prosegue ora con la descrizione del processo di costruzione del prototipo funzionale direttamente sul campo, a partire dalla realizzazione dei singoli componenti fino al loro assemblaggio finale.

9.5.1 - Costruzione della struttura

La prima fase di costruzione del prototipo ha riguardato la preparazione dei componenti necessari all'assemblaggio. Come anticipato nelle sezioni precedenti, per la struttura sono stati impiegati pannelli in MDF da 3 mm, scelti in sostituzione dell'HDPE sia per contenere i costi, sia per testare il funzionamento di base dell'architettura.

A partire da pannelli con formato iniziale di 600 mm × 400 mm, le sagomature e i tagli sono stati eseguiti a mano, rispettando le quote definite nel modello CAD. Questo approccio ha permesso di dimostrare la fattibilità delle lavorazioni manuali anche in assenza di macchinari avanzati, quali sistemi di taglio laser o squadratrici. Infine, ciascun pannello è stato forato in corrispondenza degli angoli, realizzando due fori adiacenti per consentire il fissaggio degli elementi angolari all'MDF.



Figura 102. Fotografia dell'assemblaggio delle staffe con viti M3 all'MDF

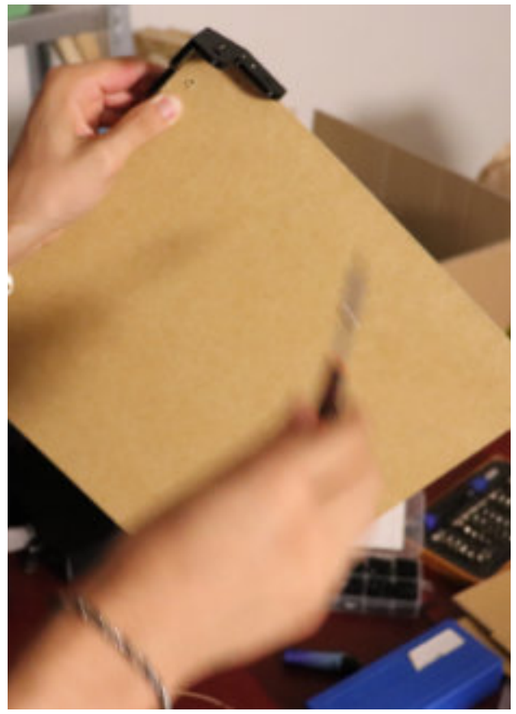


Figura 101. Fotografia della fase di taglio dei pannelli di MDF



Figura 103. Fotografia della fase di montaggio e foratura dell'MDF con le prime staffe inferiori

9.5.2 - Cablaggio e Integrazione Componenti attivi

Negli angolari stampati in PETG sono stati alloggiati degli inserti filettati M3: mediante l'uso di un saldatore è stata scaldata la plastica per annegarvi l'inserto, rendendo così l'unione con le viti estremamente solida e resistente alle sollecitazioni. Ciascun pannello interno è stato avvitato agli angolari, andando a creare una struttura chiusa su 5 lati e lasciando lo spazio per il pannello trasparente in PMMA. Sulla parete interna di sinistra è stata ricavata un'apertura quadrata con un lato di 101 mm, calcolata considerando le tolleranze necessarie all'incastro del tappetino riscaldante (Fig.105). Dal lato opposto è stata posizionata una sottile lamiera d'alluminio, con funzione di barriera di contenimento e di radiatore per il tappetino, fissata in sede mediante quattro viti. Come si può osservare nella figura 106, a seguito del serraggio delle pareti interne si è proceduto con la misurazione, la foratura e l'avvitamento dei pannelli estero-superiori direttamente sulla base di quelli interni, in modo da prevenire errori di tolleranza e utilizzare la struttura sottostante come riferimento per il prosieguo del montaggio.

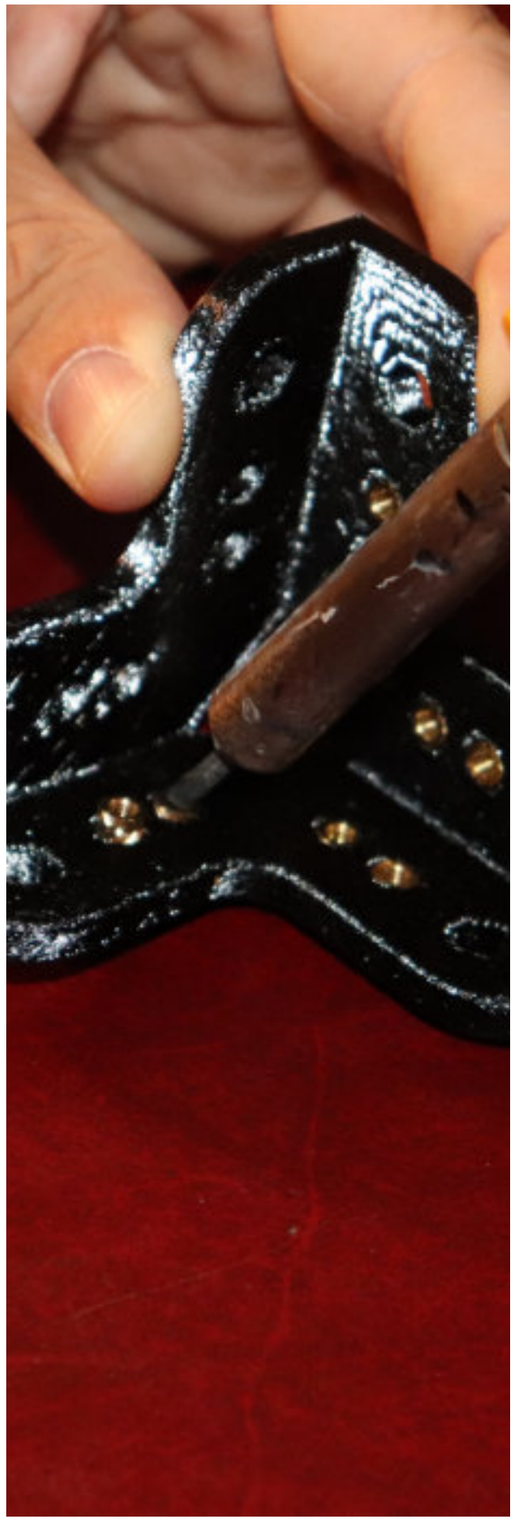


Figura 104. Fotografia della fase di inserimento degli inserti filettati nelle staffe

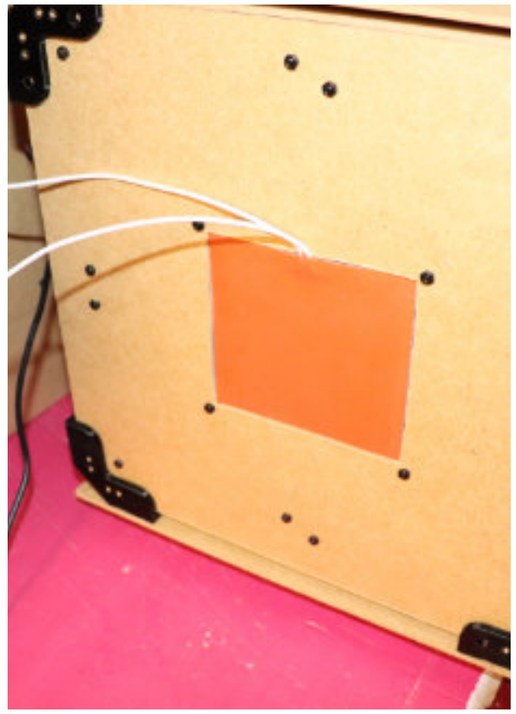


Figura 105. Fotografia dell'assemblaggio del pannello termico e cablaggio



Figura 106. Fotografia della fase di montaggio e inserimento dei pannelli esterni tramite viti M3

9.5.3 - Cablaggio e Integrazione Componenti attivi

Una volta ottenuti tutti i pezzi necessari all'assemblaggio, si è trattato soltanto di smontare nuovamente le pareti interne ed esterne per praticare i fori destinati al passaggio dei cavi. La parete superiore è stata forata per ospitare il passaggio dei cavi del sensore dei gas e del sensore di umidità. La parete posteriore è molto importante poiché presenta gli alloggiamenti per due sonde termiche: la prima è posizionata in alto per misurare la temperatura della zona calda della camera, mentre la seconda si trova in basso a destra per monitorare la temperatura della parte fredda della camera di degenza. La media dei due valori ottenuti, insieme al dato del sensore di umidità, costituisce i valori affidabili interni di temperatura e umidità media. È bene anche notare come le sonde risultino completamente nascoste dietro al frame, in modo da evitare che siano facilmente raggiungibili dagli animali e che si rovinino quindi precocemente, ad esempio a causa di rosicchiamento. Anche per questa parete i cavi passano attraverso due fori e si congiungono nella parete posteriore. Allo stesso modo, i cavi del tappetino riscaldante corrono internamente all'intercapedine della camera calda e si congiungono nella parete esterna, da cui fuoriescono per entrare direttamente nella scatola di derivazione, lontana da fonti di calore e di umidità potenzialmente pericolose. Come mostrato in figura 107, la scatola di derivazione è direttamente avvitata alla parete posteriore tramite quattro viti. All'interno, tutti i componenti elettrici e i cavi sono ordinati e collegati tra loro mediante morsettiere a vite, che ne facilitano la manutenzione e l'eventuale sostituzione.

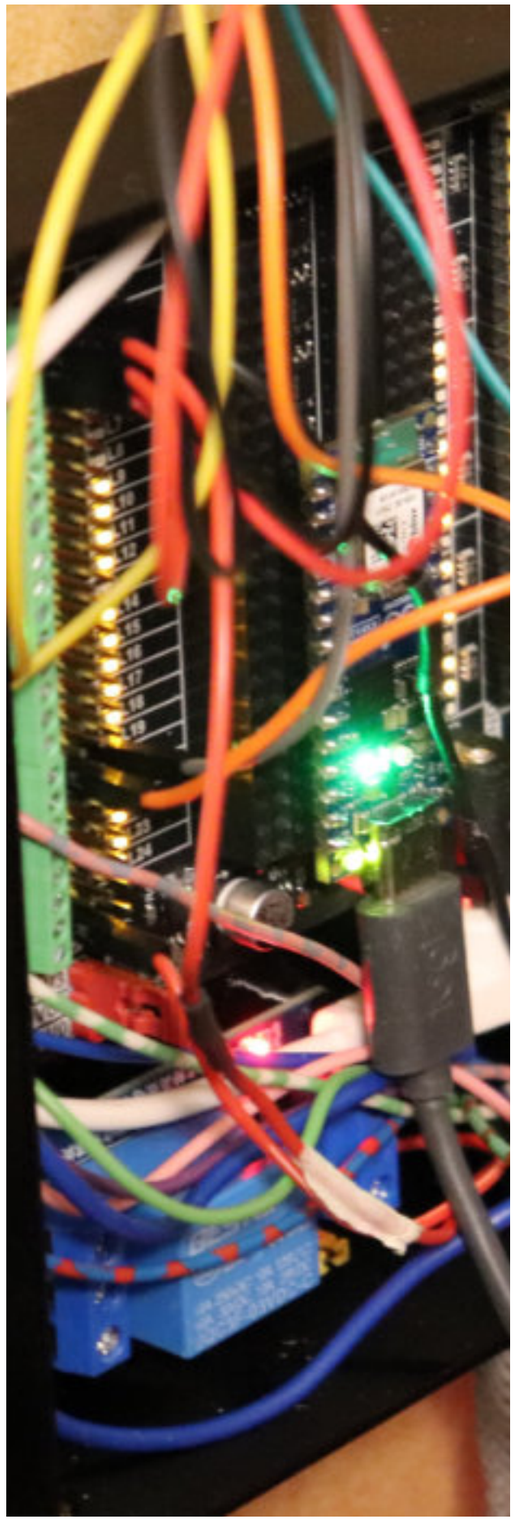


Figura 108. Fotografia dettaglio dell'elettronica all'interno della scatola di derivazione

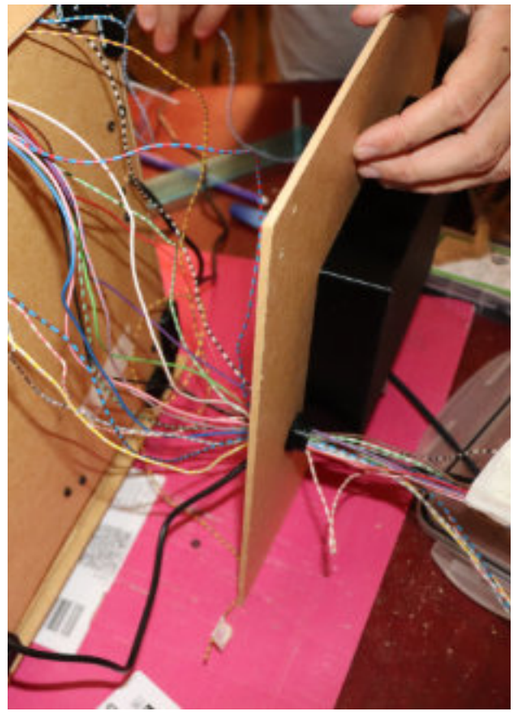


Figura 107. Fotografia della fase di assemblaggio delle pareti interne e passaggio dei cavi esterni



Figura 109. Fotografia dei frame attaccati alla parete con le sonde termiche

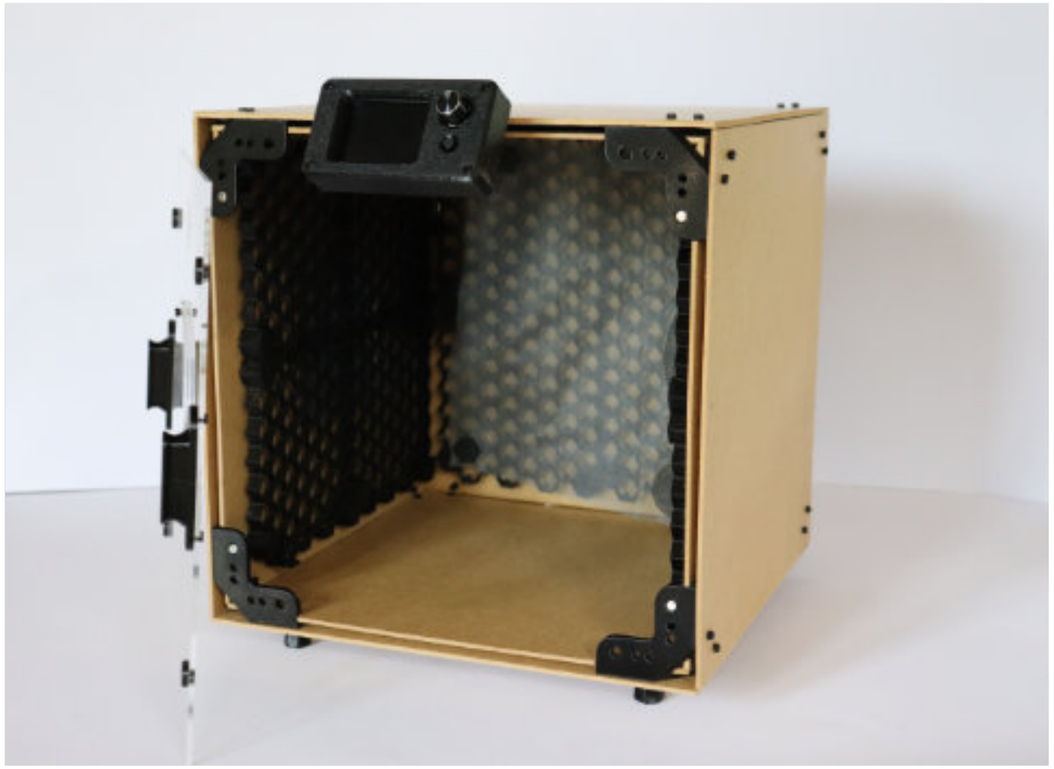


Figura 110. Fotografia del prototipo completo



Figura 111. Fotografia dello schermo



Figura 112. Fotografia dello schermo acceso del prototipo

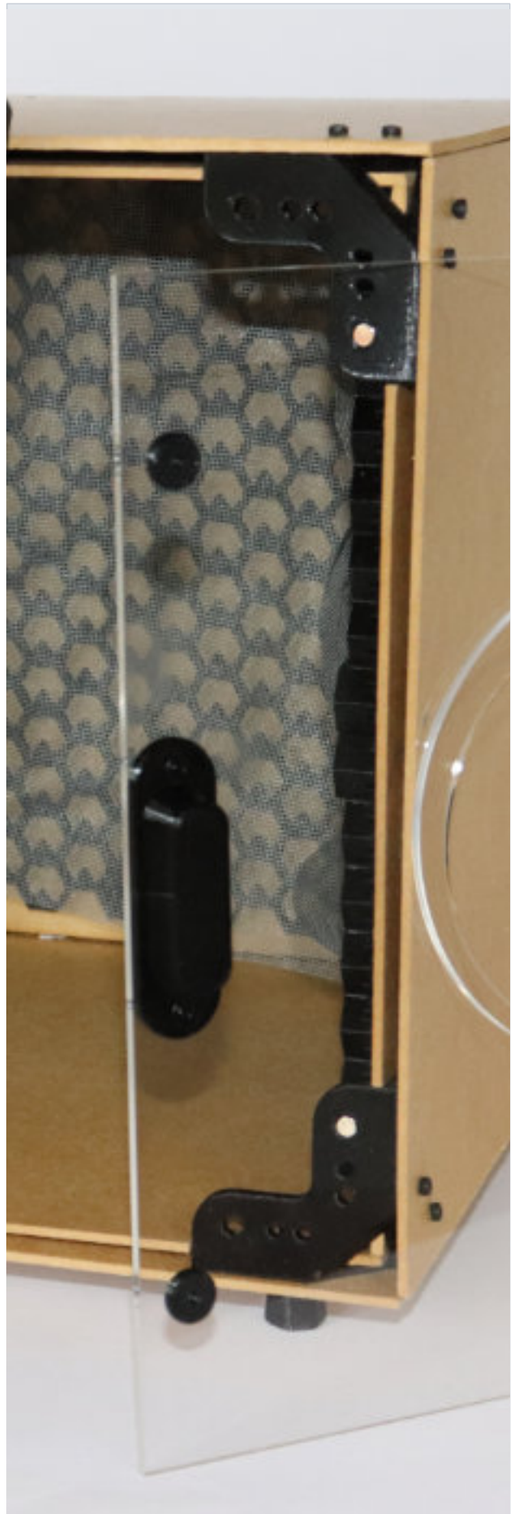


Figura 113. Fotografia del PMMA con la maniglia in PETG



Figura 114. Fotografia dei piedini della camera calda



Figura 115. Fotografia dei frame attaccati alla parete con il modulo zanzariera

9.6 - Programma Arduino

La struttura del codice è stata progettata in diretta conseguenza all'analisi delle funzioni che il prodotto deve svolgere e ai componenti reperiti in precedenza, tenendo però il focus sulle potenzialità e limiti del microcontrollore.

Il programma sviluppato è un firmware successivamente caricato sulla scheda Arduino ESP32, il codice è stato scritto tramite IDE proprietario di Arduino, che ha permesso una rapida e facile lettura della scheda e test in diretta dei componenti tramite Serial Monitor.

Il programma è stato organizzato in più schede (multi-tab), ovvero un unico programma compilato che presenta differenti blocchi funzionali suddivisi in 14 file, questa suddivisione è utile per separate nettamente le configurazioni, la lettura degli stati e le funzioni.

In questi file vi sono codici con estensioni. ino e codici con estensione .h, possiamo vedere le costanti del progetto stanno nel file di configurazione [config.h] che comprende la mappa dei pin, le soglie di sicurezza, i periodi dei cicli, i parametri del pannello e le opzioni di compilazione.

Questi parametri sono protetti da static.assert che impediscono la compilazione quando due impostazioni si contraddicono, questo sistema è importante per andare ad escludere problematiche alla fonte del programma, ed escliuderle in partenza da problematiche di origine hardware.

L'unica memoria condivisa del sistema è stato.h, a cui tutti i moduli fanno riferimento.

Attorno a stato.h e config.h, ruotano tutti i mopduli funzionali, dove ne è stato creato uno per ogni compito:

· sensori.ino: qui si leggono i i vaklori letti dalle sonde di temoperatura, il sensore di umidità e della qualità dell'aria

· sicurezza.ino: leggendo lo stato.h valuta del codizioni di allarme e gestisce i blocchi.

· Controllo.ino: comanda i relè che attiva il riscaldamento del tappetino, ciò viene gestito con logica a isteresi (differenziale di temperatura tra l'accensione e lo spegnimento dell'impianto), in questo modo si da un range di gioco al relè nella sua eccitazione e diseccitazione, in poche parole se si imposta la temperatura a 25°C con un'isteresi (differenziale) di 1 °C: Il riscaldamento si accende se la temperatura scende a 24 °C e il riscaldamento si spegne quando la temperatura sale a 25 °C

· display.ino e menu.ino gestiscono ripsettivamente il disegno delle diverse schermate e la navigazione con la manopola

· persistenza.ino salva e rilegge I parametri nella manopola non volatile

· orologio.ino, come dice il nome, è uno spazio dedicato al salvataggio dell'ora e della data

File	Righe	Responsabilità	Scrive nello stato
Codice_CameraCalda.ino	577	avvio in sicurezza, watchdog, scheduler, sequenza di accensione, contatori d'esercizio, log CSV	tempo, contatori, fase di avvio
Config.h	967	costanti, mappa pin, soglie, opzioni, controlli di coerenza a compilazione	-
Stato.h	435	struttura di stato unica, enumerazioni, prototipi	-
Sensori.ino	730	due DS18B20 su bus 1-Wire separati, AM2320 su I2C, MICS-5524 su ADC	temperature, umidità, gas
Sicurezza.ino	674	allarmi, memorizzazione (latch), silenziamento	allarmi, blocco
Controllo.ino	182	unico anello: relè del pannello, isteresi	stato del riscaldatore
Display.ino	2524	disegno delle schermate, ridisegno selettivo, retroilluminazione	(nulla) legge i valori
Menu.ino	1647	encoder, tasto, macchina a stati dell'interfaccia	parametri di regolazione
Persistenza.ino	234	memoria non volatile, scrittura differita, versione di schema	parametri all'avvio
Orologio.ino/.h	563	data e ora software, nessun RTC	tempo civile
Tema.h, anim.h, logo.h	1006	colori, animazioni come funzioni del tempo, marchio	-

9.7 - Interfaccia del prodotto

Durante la fase di coding e sviluppo software, l'obiettivo principale è stato realizzare una soluzione per ottenere un codice che fosse funzionante e allo stesso tempo soddisfacesse le nostre richieste e quelle degli operatori del C.R.A.S. Non essendo il punto focale del progetto si è preferito utilizzare un'infografica semplice con scritte bianche su sfondo nero.

Supporto dell'Intelligenza Artificiale nel Coding

Per ottimizzare i tempi e garantire un codice funzionante abbiamo integrato l'utilizzo dell'assistente AI Claude. Questo strumento ci ha permesso di:

· Accelerare la stesura del codice

· Adattare le richieste specifiche al codice

· Mantenere una pulizia e qualità del sistema congrua all'utilizzo

User Experience

L'interfaccia grafica non costituisce il fulcro centrale dello studio, si è quindi optato per un approccio minimalista, pulito ed essenziale:

· Palette cromatica ad alto contrasto

Testi bianchi su sfondo nero per ridurre l'affaticamento visivo e garantire una perfetta visibilità

· Schermata di avvio

Schermata di accensione che accoglie l'utente all'utilizzo

· Intuitività e gerarchia visiva

Schermate concepite per essere di immediata comprensione eliminando elementi superflui

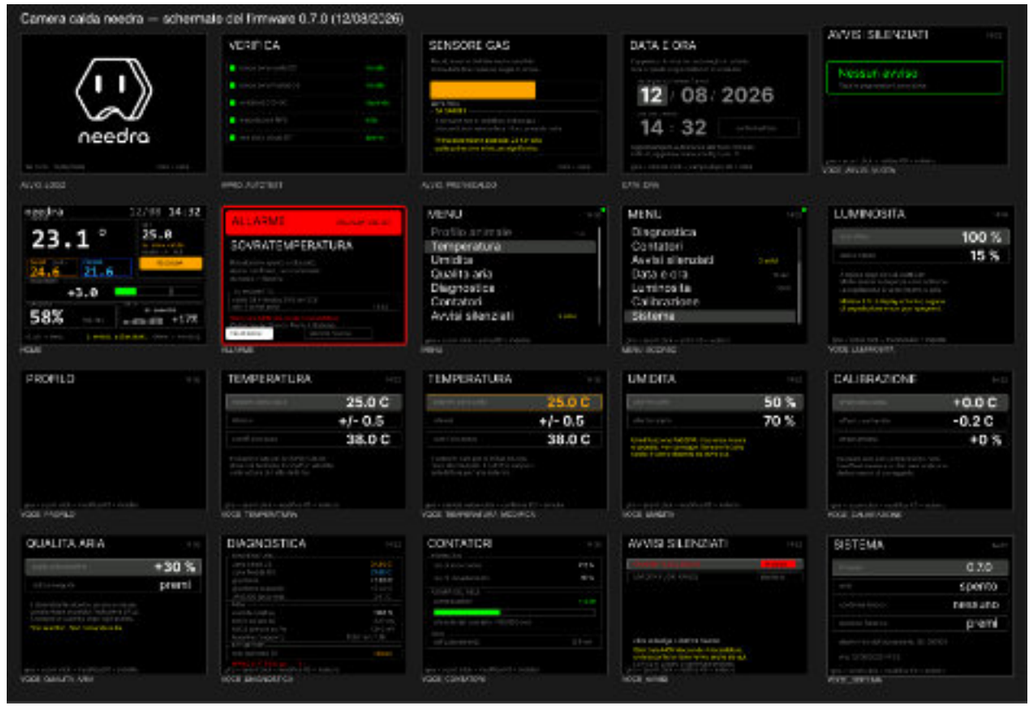


Figura 116. Schermate interfaccia dello schermo

9.8 - Branding

Durante tutta la durata dello studio ci si è interrogati sul riuscire a dare un nome a questo oggetto unico nel suo genere. Per farlo si è partiti da quello che è il fulcro della nostra camera calda. Il calore infatti porta giovamento all'animale ospitato all'interno. La guarigione di questi ultimi è l'obiettivo finale della ricerca e quindi punto di partenza per riuscire ad individuare un nome adeguato al sistema.

L'ispirazione arriva quindi dal mondo dello yoga ed in particolare dallo Yoga Nidra. Si tratta di una tecnica di rilassamento profondo e meditazione guidata che esprime il suo potenziale di guarigione verso l'abbandono del corpo in uno stato di coscienza tra la veglia e il sonno. Di conseguenza questa pratica si pone come obiettivo quello di rigenerare il corpo e le energie vitali dell'individuo. Questo concetto è stato poi ripreso e modificato utilizzando al posto di Nidra la parola inglese "need" (bisogno), che richiama la necessità di un profondo rilassamento per gli animali nelle fasi di recupero che, come viene spiegato al capitolo 2, versano in condizioni di forte shock.

Il logo invece voleva essere una caricatura dell'elemento principale della camera calda costituito dall'esagono, qui l'esagono si anima e diventa logo del sistema.



Figura 117. Logo della camera calda Needra

9.9 - Collaudo

Veniamo ora all'analisi del collaudo effettuato per provare il funzionamento della camera calda. È importante dire che il nostro prototipo funzionale non dispone di tutte le certificazioni necessarie per poter essere utilizzato in ambiente veterinario poiché l'ottenimento delle stesse richiede mesi di sperimentazione e l'utilizzo dei materiali definitivi. Come detto nei capitoli precedenti il nostro progetto arriva ad un punto di analisi che rimane nell'area prototipale e per questa ragione le prove sono state effettuate senza l'inserimento di animali all'interno. Questo perché noi stessi abbiamo preferito eseguire le prime prove e i collaudi in sicurezza senza mettere in pericolo l'incolumità degli animali in degenza. *(Zisopol et al., 2024)*

Fase 1: Collaudo hardware e sicurezza elettrica

Il primo collaudo effettuato è stato importante per verificare il corretto collegamento dei cavi rispettando la messa a terra e il positivo; l'accensione e il successivo manifestarsi di anomalie avrebbe subito mostrato la presenza di problemi all'interno del sistema. Questo però non è avvenuto e dopo essersi accertati che tutto fosse in regola si è deciso di proseguire con il testing.

Fase 2: Testing software e diagnostica tramite Arduino

La seconda parte di testing riguardava principalmente a livello software la corretta connessione di ciascun componente. Collegando Arduino all'applicazione Arduino IDE è possibile programmarlo per effettuare una diagnostica di ciascun componente e così è stato fatto. Una volta che il codice entra in funzione compare nel serial monitor (finestra di interfaccia hardware-utente) un menù vero e proprio in cui vi è la possibilità di testare uno ad uno i diversi componenti.

Dettaglio dei test sui singoli componenti:

Relè: Durante il test il relè viene fatto scattare 3 volte per confermare il corretto funzionamento.

Sonde termiche: Le sonde termiche sono attive e registrano 6 dati per confermare il funzionamento sia dell'una sia dell'altra.

Sensori di umidità e gas: Lo stesso viene effettuato dai sensori di umidità e dei gas che stampano sul serial monitor le informazioni di buona riuscita dei test.

9.9.1 - Test termici

A seguito della parte di diagnostica delle componenti si è passati al testing vero e proprio e alla collezione dei dati per verificare il comportamento termico della stessa. I test sono stati effettuati in ambiente controllato con una temperatura di 28°C ed un'umidità pari al 60%. L'interno della camera calda è stato preventivamente raffreddato con del ghiaccio portando la temperatura interna a 26°C. Questo è stato necessario per svolgere correttamente le prove, poiché d'estate le temperature a cui è sottoposta la camera calda superano i limiti impostati dal codice.

Partiamo ora dal test dei valori di temperatura: grazie alla presenza di due sonde è possibile differenziare il monitoraggio di due zone distinte e di ottenere una quantità di dati e una qualità maggiore ai fini progettuali.

Il test termico si è svolto misurando i valori di temperatura per ogni sonda in un determinato intervallo di tempo con la formula:

$\Delta T_int = T_calda - T_meno_calda$ [°C]

Parliamo di un test svoltosi in 60 minuti di utilizzo della camera calda con una registrazione dei valori ogni 2 minuti e 30 secondi per una maggiore affidabilità. Il totale riguarda 24 rilevazioni di valori della temperatura alta e bassa e una media dei diversi totali come viene mostrato nella tabella.

Il risultato di questa sessione di test ha portato alla conferma di due comportamenti definiti della camera calda:

La prima parte dei dati è caratterizzata da un picco della sorgente calda con una temperatura massima che arriva a 35.1°C. Questo è dovuto principalmente alle oscillazioni dei moti convettivi dell'aria interna all'ambiente di degenza.

Intorno al 15° dato raccolto vediamo una stabilizzazione dei dati ottenuti, dimostrando un equilibrio interno della camera. La temperatura nella parte calda della camera calda si è stabilizzata a 31.3°C ± 0.3°C, mentre la zona meno calda si è stabilizzata a 26.1°C ± 0.3°C. Otteniamo quindi un gradiente di omogeneità (ΔT_int) che si attesta attorno ai 5.3°C.

Anche dal punto di vista igrometrico si sono ottenuti dei valori molto positivi, poiché si è registrato un valore iniziale del 47% che diventa 43% sul finire del test di collaudo. Questi valori rispecchiano il principio dell'aria umida determinando una contrazione del valore di umidità a parità di acqua contenuta.

Campione (min)	T_calda (°C)	T_meno_calda (°C)	DeltaT_int (°C)	Umidita_RH (%)
1	35,1	32,2	2,9	47%
2	34,4	31,9	2,5	47%
3	34,4	31,5	2,9	46%
4	31,2	28,2	3,0	47%
5	31,6	28,0	3,6	46%
6	34,4	31,0	3,4	46%
7	31,6	27,5	4,1	46%
8	34,6	30,2	4,4	46%
9	34,3	30,4	3,9	45%
10	34,2	30,1	4,1	45%
11	32,0	26,9	5,1	46%
12	32,1	27,0	5,1	46%
13	31,0	29,1	1,9	45%
14	32,3	26,7	5,6	45%
15	31,5	26,0	5,5	44%
16	31,6	26,2	5,4	44%
17	31,5	26,2	5,3	43%
18	31,5	26,2	5,3	43%
19	31,2	26,8	4,4	43%
20	31,4	26,1	5,3	43%
21	32,2	26,6	5,6	43%
22	31,3	25,9	5,4	43%
23	31,2	26,0	5,2	43%
24	31,2	25,9	5,3	43%

10
Conclusioni

10.1 - Verifica della qualità

Secondo il metodo progettuale nel corso di Design I del Politecnico di Torino, la qualità di un progetto è l'esito del confronto tra le prestazioni offerte (in questo caso dal PoC) e il sistema esigenziale-prestazionale, verificandone i punti soddisfatti e no.

La tabella seguente applica questo confronto al prototipo della camera calda, mettendo a fronte, requisito per requisito, la prestazione attesa in fase di analisi (Cap. 5) e quella effettivamente rilevata sul prototipo finale in sede di collaudo.

Cod. Area	Cod. Esigenza	Classe Esigenziale	Esigenza	Cod. Requisito	Requisito	Cod. Prestazione	Prestazione Target per il PoC (Valore + Unità)	Modalità di verifica (Cap. 11)	Verifica	Motivazione	Soluzione
U1 (Operatore CFMS)	E1	Benessere / Fruibilità	Controllo e monitoraggio visivo	R1.1	Trasparenza ottica	P1.1a	Fattore minimo trasparenza: la PARIA (e membrane equivalenti) deve essere misurata con la parete [illegible]	Verifica ottica da PoC (Cap. 11)	Superata	Il materiale rende il PARIA trasparente come richiesto, misurato con la parete [illegible]	/
U1 (Operatore CFMS)	E1	Benessere / Fruibilità	Controllo e monitoraggio visivo	R1.2	Monitoraggio comportamentale	P1.2a	Modulo IoT integrato con display TFT o LED per test (ref. ESP-EYE V2, LILYGO T-Display-S3 o simili)	Collaudo schede elettroniche da PoC (Cap. 11)	Parzialmente superata	Presenza di schermo per la lettura dei dati. Possibilità di inglobare il modulo IoT nel rivestimento non sviluppata.	/
U1 (Operatore CFMS)	E2	Sicurezza	Chiusura e non avvicinamento sicuro	R2.1	Chiusura sensibile	P2.1a	Chiusura a scatto di magnetico a presa di type (forza di distacco 5-10 kg)	Prova di tenuta meccanica da PoC (Cap. 11)	Non superata	Fissaggio sufficiente a 20 N	Aumentare numero magneti nei punti disponibili e aumentare diametro dei magneti
U1 (Operatore CFMS)	E2	Fruibilità	Accessibilità per manutenzione ordinaria	R2.2	Accesso rapido e sicuro	P2.2a	Apertura frontale del rivestimento con coperchio rimovibile dimensioni 120 mm	Prova di apertura e misurazione da PoC (Cap. 11)	Superata	Coperchio rimovibile con vite di chiusura	/
U1 (Operatore CFMS)	E3	Fruibilità	Facilità di montaggio e posizionamento	R3.1	Interfaccia geometrica per fissaggio a terra	P3.1a	Involucro con guida geometrica dedicata per posizionamento certo fissaggio per l'alloggiamento degli [illegible]	Test di assemblaggio da PoC (Cap. 10)	Superata	Coperchio rimovibile grazie alla modellazione 3D	/
U1 (Operatore CFMS)	E4	Fruibilità	Impatto ridotto sul paesaggio	P4.1	Leggerezza della struttura	P4.1a	Peso complessivo del rivestimento < 10 kg	Verifica bilancia pesata PoC (Cap. 10)	Superata	Il rivestito pesa 3,97 kg	/
U1 (Operatore CFMS)	E5	Fruibilità	Impatto ridotto sul paesaggio	P5.2	Forma organicistica	P5.2a	Modello saggio che organicistica per facilitare l'apertura per quanto riguarda.	Prova di presa ed ergonomia da PoC (Cap. 11)	Superata	/	/
U1 (Operatore CFMS)	E6	Gestione	Manutenibilità e sostituzione	E6.1	Disaccoppiamento superficie	P6.1a	Tempo totale (rimozione + sostituzione + rimontaggio) < 10 min con 1 solo operatore	Test cronometrato da PoC (Cap. 10)	Non superata	Tempo richiesto maggiore di 10 min	Utilizzo di viti brugola e connettori rapidi per l'elettronica
U1 (Operatore CFMS)	E7	Sicurezza	Controllo microclima e sicurezza elettrica	P7.1	Microclima interno	P7.1a	Range di temperatura 20-25 °C con isolamento di prestazione ≥ 0,5 °C	Mappatura con sensori interni registrazione PoC (Cap. 11)	Superata	Con l'utilizzo di sensori DHT22 la differenza è di 0,3 °C	/
U1 (Operatore CFMS)	E7	Sicurezza	Controllo microclima e sicurezza elettrica	P7.2	Sicurezza elettrica	P7.2a	Vano elettrico separato sulla dorsale, alimentazione a bassa tensione (12 V DC, max 2 A) e connettori a tenuta stagna (IP67 o superiore)	Collaudo sulla sul PoC (Cap. 11)	Superata	Verificato con tester: la tensione di alimentazione viene correttamente alla camera calda	/
U2 (Addetti / Esperti)	E8	Benessere	Benessere termico	E8.1	Microclima termico controllato	P8.1a	Classe minima attività: assicurare la [illegible] condizioni	Prova di integrazione nominale su PoC (Cap. 11)	Superata	/	/
U2 (Addetti / Esperti)	E9	Benessere / Fruibilità	Adeguatezza visiva dello spazio	P9.1	Modalità luce di ambienti	P9.1a	Cicli di osservazione verificabili in assenza. Zattera: possibili 2 h + 10 min (ideale > 30 min tra le per l'esperienza di [illegible]	Verifiche diretta ed ergonomia da PoC (Cap. 11)	Non testata	Assenza di posa diretta nel recinto attraverso con animali	Certificare proprio fatto per la presenza la sicurezza la presenza di animali
U2 (Addetti / Esperti)	E10	Conoscenza / Cultura	Igiene e separazione ciclo/rifiuti	E10.1	Utilità Piano di Terra	P10.1a	Fondo rimovibile e facile lavaggio.	Test di pulizia e verifica da PoC (Cap. 11)	Non testata	Fondo non a facile rimozione e pulizia da PoC	Zone esterne per la manutenzione ordinaria
U2 (Addetti / Esperti)	E11	Benessere	Isolamento acustico e visivo	E11.1	Estetica della specie	P11.1a	Pubblico massimo < 25 visitatori contemporanei per non [illegible] senza disturbo.	Misurazione fotometrica da PoC (Cap. 11)	Non testata	Gestito non è stato fatto alla fine	/
U3 (Produttore)	E12	Gestione	Ottimizzazione produttiva	P12.1	Conformità standard e stampa 3D	P12.1a	Tolleranza accoppiamenti parti stampate in 3D ≤ 0,2 mm, rilievi superficiali ≥ 1 mm	Controllo dimensionale post-stampa da PoC (Cap. 11)	Superata	Tolleranza ok 0,2 per accoppiamenti manuali per richiesta essere da cocci	/
U3 (Produttore)	E13	Gestione	Disinfettazione viaria	P13.1	Disinfettabilità	P13.1a	Involucro con [illegible] e [illegible]	Prova di disinfettabilità da PoC (Cap. 10)	Superata	Viene utilizzato MDI	/
U4 (Gestione)	E14	Gestione	Facile pulizia e sanificazione	P14.1	Pulizia ampia chimica e facilità	P14.1a	Pulizia con [illegible]	Test di lavabilità e tenuta liquidi da PoC (Cap. 11)	Non testata	Per la dei pannelli in MDF con PVC	/
U4 (Gestione)	E15	Gestione / Integrabilità	Regolazione del posizionamento	P15.1	Facilità regolabili	P15.1a	4 piedini regolabili con corsa minima 10 mm, altezza da terra ≥ 50	Test stabilità PoC su piano accidentato (Cap. 11)	Superata	Modello regolabile da 2 a 10 cm di altezza	/
U5 (Ambientale)	E16	Conseguenza sull'ambiente	Protezione impatto ambientale	P16.1	Materiali riciclabili	P16.1a	Pubblicati 100% riciclabili (HDPE), MDPE, PMMA) assenza di [illegible] tossici.	Valutazione ciclo-compatibilità del PoC (Cap. 11)	Parzialmente superata	Il PVC non è stato riciclato con complessivo riciclo ma è stato isolato la sua riciclo-compatibilità anche di viene a fallire	/
U6 (Sociale)	E17	Integrabilità / Assente	Impatto comunicativo e contesto	E17.1	Interfaccia utente intuitiva	P17.1a	Interfaccia grafica ed display IoT intuitiva per veterinari, [illegible] operativi e per gli operatori.	Test di usabilità dell'interfaccia IoT (Cap. 11)	Superata	Feedback ricevuto da [illegible]	/

10.1.2 - Benchmark

Durante la fase di progettazione è importante analizzare ed identificare i valori e prodotti (stato dell'arte) presenti sul mercato di riferimento.

Per fare ciò è necessario sfruttare una metodologia specifica per poter essere in grado di paragonare con semplicità oggetti della stessa categoria ma prodotti da compagnie differenti. È stato quindi utilizzato il metodo fornitoci durante il corso di studi dal Politecnico di Torino, ovvero il così detto Benchmark tramite il modello Kano.

La metodologia applicata non si limita a descrivere i prodotti presenti in commercio, ma come questi si collocano paragonandoli a vicenda. Si tratta quindi di un vero e proprio confronto in cui ogni prodotto compreso quello progettato vengono paragonati tramite apposite griglie di valutazione. Il risultato ottenuto con i dati della fase precedente viene tramutato graficamente con i relativi punteggi. La somma dei punteggi va a decretare il vincitore con il punteggio più alto.

I criteri (chiamati anche fattori) non sono uguali e non valgono tutti allo stesso modo, ci sono infatti 3 categorie: Base, Prestazionali e Delight, di seguito le loro caratteristiche e relativo metodo di valutazione.

Ogni fattore viene catalogato all'interno dell'utenza a cui si rivolge, nello schema vengono suddivisi

Di seguito abbiamo analizzato quattro modelli esponenti del settore con il nostro progetto, utilizzando il sistema Kano per andare a verificare il posizionamento del nostro prodotto in termini competitivi.

	Base	Prestazionale	Delight
Che cos'è	Quello che deve essere di	Quello che fa scegliere	Quello che sorprende
Se c'è	Non contribuisce felicità	Soddisfazione proporzionale	Entusiasmo
Se manca	È praticamente inaccettabile	Insoddisfazione	Nessun effetto
Voto	Ci si aspetta 3	Più, più alto è	Sorpresa 3
Come si ricorda	Il solo problema è quando	In confronto con i concorrenti	L'assenza del requisito in tanto di cui
Esempio	Temperatura regolabile	Filtrazione dell'aria	Volume ad ripetibile

stanza definita con cui rispondono ai fattori proposti, vi è da considerare però che in questo sistema non viene definita la qualità con cui certi fattori vengono soddisfatti.

Per esempio: il filtraggio dell'aria è stato soddisfatto da 3 modelli, ma c'è da tenere in conto che il modello UC-1801 della Aeolus, dispone di sistemi a UV per disinfettare e sterilizzare al meglio l'aria insufflata.

Da quest'analisi si deduce inoltre, come il nostro progetto riesca a farsi distinguere sotto diversi punti di vista: della personalizzazione, possibilità di utilizzo e smaltimento di materiale riciclato e riciclabile e facile manutenibilità, tenendo però conto che vi siano mancanze di sistemi che permettano la purificazione dell'aria e la possibilità di eseguire terapie che richiedono l'impiego di ossigeno.

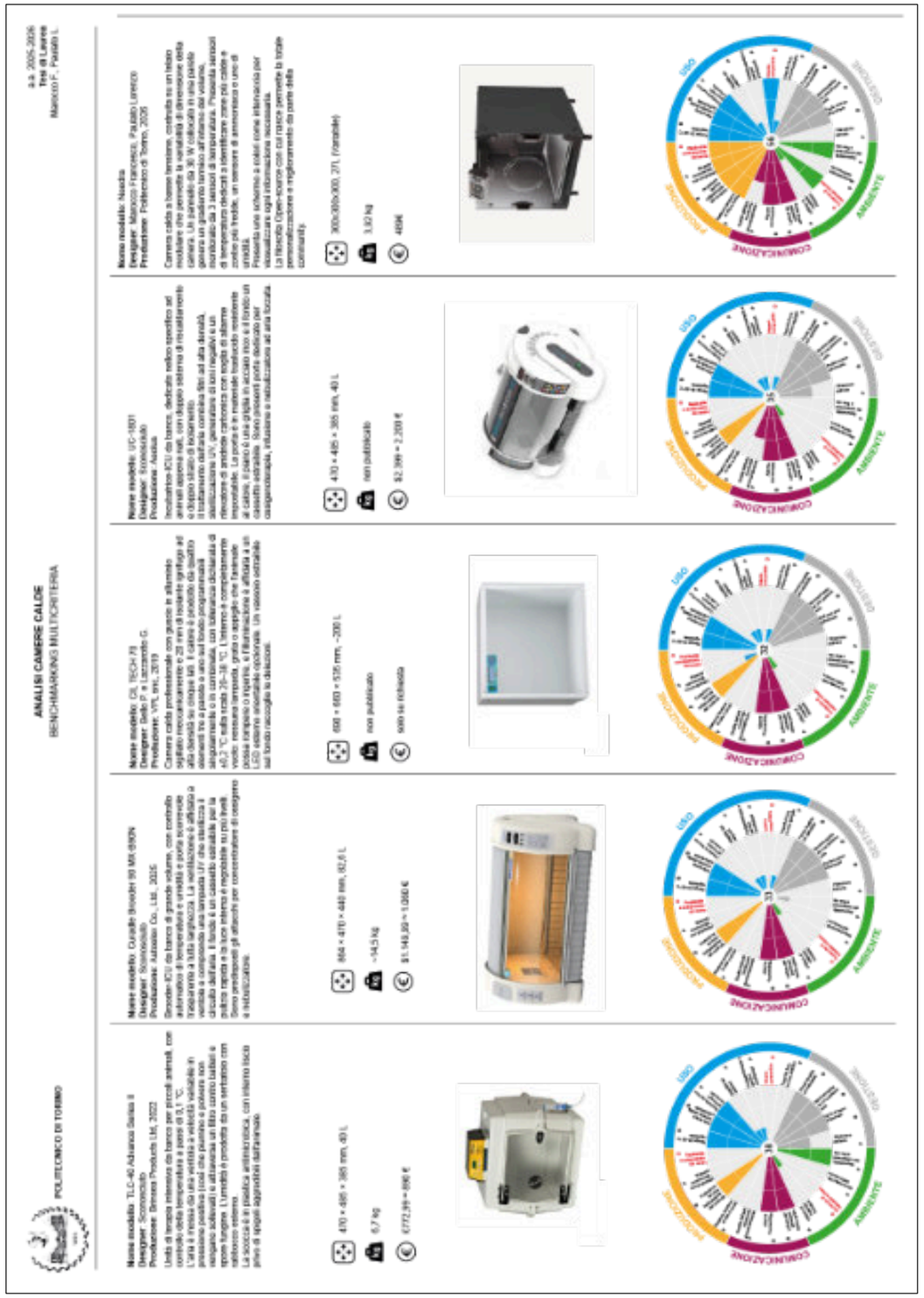


Figura 118. Tavola del benchmark

10.2 - Analisi LCA

10.2.1 - Cos'è l'LCA

Capiamo ora il significato di LCA, passaggio fondamentale nella progettazione come strumento che misura in toto l'impatto che un oggetto ha sul nostro pianeta.

"L'LCA è una metodologia usata per valutare l'impatto ambientale di un prodotto, processo o servizio attraverso il suo intero ciclo di vita (ISO 14040:2006)".

Questo calcolo considera le varie fasi di vita di un prodotto includendo al suo interno l'estrazione del materiale grezzo, la manifattura, la distribuzione, l'utilizzo e infine il rifiuto.

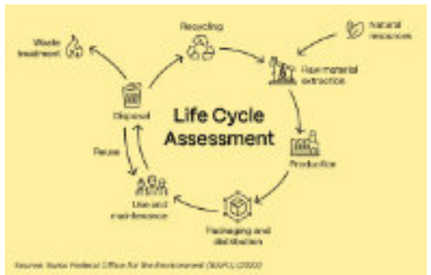
Si possono individuare 4 fasi distinte del calcolo LCA in ordine:

Gli obiettivi e lo scopo dello studio devono essere definiti.

Eseguire un'analisi di inventario per quantificare le emissioni inquinanti e l'uso delle risorse.

La valutazione d'impatto calcola i potenziali impatti ambientali delle emissioni inventariate e del consumo di risorse.

Troviamo poi la fase di analisi dei dati raccolti e ottenuti, tradotto in conclusioni e analisi di quanto ottenuto nelle fasi precedenti. *(ecoinvent Association, 2022)*



10.2.2 - Obiettivo, Campo di applicazione e Confini di sistema

Definiamo ora gli obiettivi e gli aspetti specifici del progetto Camera calda garantendo una coerenza di metodologia con ciò che è stato effettuato fino ad ora:

Obiettivo dello studio: L'obiettivo principale di questo studio è quello di quantificare l'impatto ambientale legato alla produzione dei materiali e dell'elettronica necessari all'assemblaggio del prodotto nella sua interezza.

Unità Funzionale: L'unità funzionale di riferimento si può definire come: "La fornitura dell'intero set di componenti hardware assemblati e pronti per il funzionamento della camera calda".

Confini di sistema: Vista la natura del progetto, lo sviluppo prototipale e la disponibilità dei dati si è optato per un approccio Cradle-to-gate (dalla culla al cancello). i confini del sistema quindi si occupano dell'estrazione delle materie prime, produzione dei componenti elettronici e dei materiali strutturali fino all'assemblaggio in laboratorio. sono escluse da questo calcolo le fsi di utilizzo effettivo del prodotto e di fine vita, per le quali le ipotesi di scenario introdurrebbero margini di incertezza troppo elevati.

10.2.3 - Analisi Inventario e Metodo di Calcolo

La fase di inventario consiste nella raccolta dei dati quantitativi relativi ai flussi di materia e energia per ciascun componente.

La redazione di questo studio è stata realizzata tramite l'utilizzo di due metodi di calcolo distinti:

Analisi tramite software openLCA: Per questo primo calcolo si è utilizzata la piattaforma open-source openLCA *(GreenDelta GmbH, 2006)*, sfruttando i dataset gratuiti ottenuti tramite la piattaforma openNexus, nello specifico:

ELCD 3.2 *(ELCD 3.2 (European Reference Life Cycle Data System), 2015)*

USDA 1901 *(United States Department of Agriculture (USDA), 2023)*

openLCA Methodology (per la valutazione degli impatti)

L'utilizzo di questi dataset ha permesso di modellare la catena di fornitura dei componenti elettronici e strutturali, sfruttando flussi di processo standardizzati per calcolare automaticamente le categorie di impatto ambientale.

Analisi di calcolo manuale: In parallelo è stata eseguita un'analisi manuale dei dati e, di conseguenza, un calcolo approssimativo tramite tabella Excel, in cui i dati sono stati calcolati sfruttando alcune formule lineari semplici:

Questo approccio combinato ha permesso di ottenere delle stime valutando le differenze tra i risultati ottenuti con uno e con l'altro metodo per una maggiore precisione in toto dell'analisi *(ecoinvent Association, 2022)*.

10.2.4 - Fonti, Formule di Calcolo e Approssimazioni

Per il calcolo manuale sono state adottate le seguenti metodologie:

Fonti e fattori di emissione:

I fattori di emissione applicati sono elementi built-in all'interno di database standardizzati internazionali (come Ecoinvent) per la stima dei materiali e delle componenti elettroniche.

Le valutazioni dei consumi elettrici di processo fanno riferimento ai dati ufficiali come IEA o ISPRA.

Formule applicate: le formule seguono il metodo della contabilità del carbonio *(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021)* .

Impatto dei materiali basato sulla massa: dove la Massa è espressa in kg e il Fattore di Emissione in kg $CO_{2eq/kg}$.

Impatto dei processi (consumo energetico)

Margini di approssimazione:

Per mantenere la trasparenza dello studio, si evidenziano di seguito i principali limiti e approssimazioni del modello manuale:

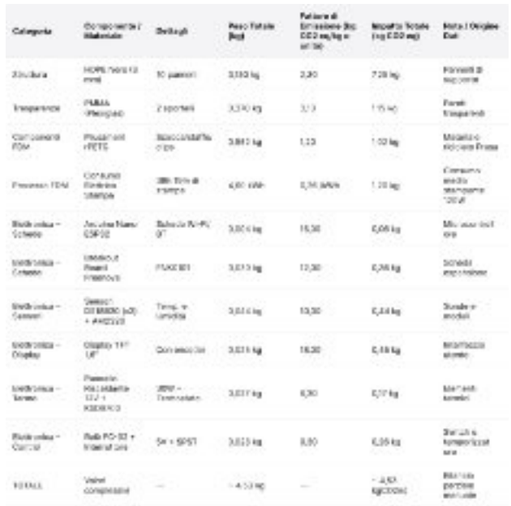
Assunzione dei valori medi dell'elettronica: per le componenti elettroniche sono state eseguite delle stime sommando i pesi totali degli elementi maggiormente presenti al loro interno. Per un'analisi più precisa, tuttavia, sarebbe necessario, per ciascun componente, disporre delle grammature specifiche di ogni singolo metallo e componente presente.

Confine Cradle-to-Gate: non sono stati inseriti i costi energetici del trasporto dalla produzione al luogo di assemblaggio.

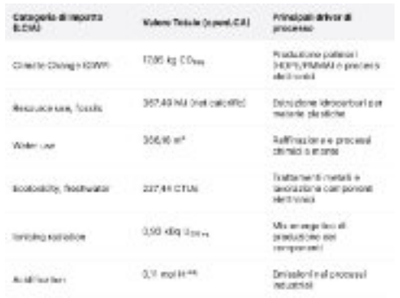
Assenza della fase d'uso: coerentemente con la scelta del confine Cradle-to-Gate non è stato calcolato il consumo di energia del prodotto durante il suo utilizzo reale.

10.2.5 - Analisi e risultati del Calcolo Manuale

Nella tabella sottostante viene riassunto l'intero processo di calcolo manuale e i relativi risultati dell'impatto climatico del prodotto (espresso in kg CO_{2eq}). I componenti sono suddivisi per materiale, consumo di processo, elementi stampati in 3D ed elettronica.



Per effettuare un'analisi più approfondita e non solo basata unicamente sul peso di ogni singola parte è stato necessario affidarsi ad una piattaforma per il calcolo completo dell'impatto ambientale delle singole parti. Sfruttando i dataset gratuiti è stato possibile estrarre un set di indicatori andando anche oltre il solo impatto climatico. La tabella seguente riassume i principali indicatori d'impatto calcolati a livello di sistema (Cradle-to-Gate):



10.2.7 - Analisi comparativa

Analizziamo ora i diversi dati traendo conclusioni a seguito dei dati raccolti:

Global Warming Potential

Il calcolo manuale si attesta attorno ai 12,36 kg CO_{2eq} emessa, mentre il modello ottenuto con openLCA restituisce un valore di 17,85 kg CO_{2eq} (n. +5,49 kg CO_{2eq})

Con questa differenza possiamo dimostrare che il calcolo manuale non tiene conto di tutti i fattori che orbitano attorno ai processi di un prodotto bensì esclusivamente relativi alla massa dell'oggetto in questione. Ciò è possibile grazie ai database inclusi relativi al ELCD/USDA .

Hotspot Ambientali

L'impatto climatico più significativo dei materiali riguarda sicuramente le categorie dei pannelli in HDPE e PMMA che confermano che l'impiego di questi polimeri è molto impattante nella fase di fabbricazione. Si attenua di molto invece l'impatto dell'rPETG stampato con tecnologia FDM.

Altro impatto significativo è indubbiamente quello della componentistica elettronica che costituisce ~ 0.13kg totali, dovuto alla produzione dei semiconduttori e dei metalli preziosi che comporta un impatto elevato per unità di peso.

Affidabilità dello studio

Sebbene l'utilizzo di un sistema Cradle-to-Gate abbia permesso di analizzare con maggiore accuratezza le fasi di produzione è bene dire che la robustezza complessiva dello studio deve essere interpretata alla luce di alcune limitazioni:

Analisi dell'elettronica: i dati sono stati selezionati sulla base della massa dei componenti maggiormente presenti nei componenti elettrici, di conseguenza vi è un margine di approssimazione che possiamo definire trascurabile. Questo perché è molto complesso andare nello specifico per l'analisi di ogni singola parte dato che non è possibile conoscere come sono stati realizzati questi componenti nello specifico. Per questo motivo molti dati presenti all'interno dei database possono rivelarsi come generalizzazioni di sistemi nella realtà più complessi.

Esclusione della logistica: Il modello inoltre non include i contributi derivanti dal trasporto della materia prima all'interno dei siti di produzione. Tale omissione se pur coerente con il concetto su cui si basa questo progetto, in ottica open source, rappresenta comunque un fattore di sottostima rispetto all'impatto reale.

Assenza della fase d'uso: i risultati ottenuti, poiché non presentano dati sulle fasi operative non possono essere impiegata per bilanci ambientali di lungo periodo.

Per concludere, lo studio si dimostra robusto, coerente e sufficientemente affidabile per confrontare le scelte ottenute durante la progettazione comparando i dati ottenuti manualmente e con il software. É corretto specificare che per una futura industrializzazione è necessario evolvere l'analisi Cradle-to-Gate verso una più completa visione di insieme.

10.2.8 - Conclusione del Capitolo e Rappresentazione Grafica dei Risultati

In sintesi, l'analisi LCA condotta sul prototipo ha permesso di quantificare l'impronta ambientale della fase di produzione (Cradle-to-Gate), evidenziando un impatto complessivo di 17,85 kg CO_{2eq} con il software in openLCA, e confermando che i materiali strutturali (HDPE e PMMA) rappresentano i principali hotspot ambientali.

La Figura 120 mostra chiaramente il confronto tra i risultati ottenuti con il calcolo manuale (basato sul peso e fattori medi) e l'analisi più dettagliata tramite il software openLCA (che include i processi upstream ed energetici a monte). Lo scostamento osservato sottolinea l'importanza di utilizzare strumenti di modellazione LCA avanzati per una stima più accurata, specialmente quando si includono catene di fornitura complesse come quella dell'elettronica.

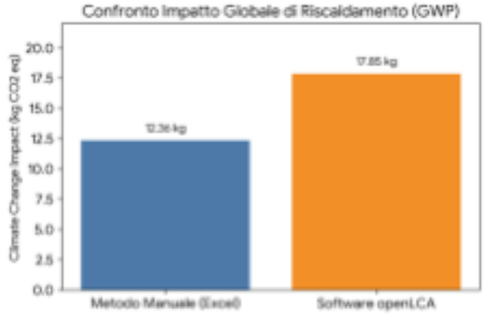


Figura 120. Immagine› del grafico dei risultati dell'LCA

10.3 - Conclusioni e sviluppi futuri

Dopo aver terminato il prototipo in loco al C.R.A.S., è stato fatto vedere al personale dell'associazione, sia come risultato concreto che funzionale.

Per raccogliere le valutazioni e considerazioni del personale, che a voce sarebbero state dispersive è stato sviluppato un questionario tramite Forms di Google.

Questo questionario è stato composto in 10 sezioni che ripercorrono le componenti e le funzioni della camera calda, per essere certi di analizzarne ogni aspetto.

L'obiettivo era semplice: far dire a chi lavora con gli animali se il progetto aveva risposto alle loro richieste o no.

Vedere domande in appendice C.

Le risposte sono state date il 17 agosto 2026 da tre personali del C.R.A.S. : il coordinatore, in servizio da oltre cinque anni, la veterinaria e un secondo referente del coordinamento.

Le risposte sono state date in nostra assenza per evitare qualsiasi tipo di influenza e lasciando tutto il tempo disponibile per risposte più complete possibili.

La risposta è maggiormente positiva, e su alcuni punto molto netta, poiché tutti e tre gli interrogati giudicano il prototipo migliore della camera calda che utilizzano attualmente e che tutti e tre utilizzerebbero la camera calda in reparto ma con qualche miglioria.

Inanzitutto la possibilità di avere una zona più calda e una più fredda, che era uno degli elementi fondanti del progetto, si è confermata una caratteristica molto importante di cui gli enti al giorno d'oggi percepiscono più la mancanza.

Anche la caratteristica di comporre la camera calda con dimensioni differenti in base alle necessità grazie alla flessibilità degli angolari è piaciuta molto, perché permette una personalizzazione massima degli spazi e delle esigenze, il volume da 27 litri (/ovvero il formato del nostro prototipo 30x30x30cm) è stato comunque valutato adatto alla maggior parte dei ricoveri reali.

Tutti e tre rispondono che sarebbero in grado di utilizzare la macchina in tempo zero, senza bisogno di spiegazioni, poiché la manopola che serve a selezionate le voci del menù è molto chiara e semplice da utilizzare.

Tutti dicono che sarebbero in grado di gestire la macchina con una mano occupata dall'animale e sulla pulizia il giudizio è unanime: le superfici interne sono considerate pulibili senza punti critici e tutti e tre userebbero senza timore il disinfettante che adoperano di solito.

Le indicazioni di miglioramento sono chiare e tutte convergono nella stessa direazione:

Aprire la camera con una mano risulta scomodo, perché il pannello si distacca completamente dal corpo della camera calda, sarebbe più comodo un'apertura con una cerniera

È stato inoltre richiesto di rivedere l'apertura con magneti più forti, è la stessa cosa che era già emersa dalle prove in laboratorio, dove la tenuta della chiusura non aveva raggiunto il valore previsto.

Come già descritto al capitolo 10.1.1 – Analisi del progetto, questa porblematica è risolvibile con l'aggiunta di più magneti nelle sedi attualenmnte già presenti negli angolari del frame

Un'altra problematica è stata riguardo gli allarmi, oggi l'avviso compare solo sullo schermo, e tutti e tre dicono che se ne accorgerebbero soltanto passando davanti alla camera; due chiedono un segnale acustico o una spia visibile da lontano.

Questo è in parte risolvibile non solo con l'integrazione di una spia più visibile ma anche grazie all'integrazione IoT del dispositivo, tramite un avviso via App.

La terza riguarda l'aria: il ricambio d'aria è la voce che compare più spesso tra le cose da sistemare, insieme alla vaschetta dell'umidità, per cui viene chiesto un promemoria di riempimento.

In risposta a queste problematiche va implementato un sistema di ventilazione attivo che vada a forzare la ventilazione, che al momento rimane semplicemente passiva grazie a dei fori sul pannello frontale.

Un sensore di livello per segnalare il ricambio dell'acqua, o un avviso di ricarica dell'acqua quando il sensore di umidità rileva l'aria troppo secca.

Nel complesso il questionario dice che il sistema di esigenze e prestazioni costruito all'inizio del lavoro aveva individuato le cose giuste, e che il prototipo le ha soddisfatte quasi tutte: il controllo del microclima, la lettura dei dati, l'accesso all'animale, la modularità e la fruibilità trovano tutte riscontro positivo, mentre restano aperte la chiusura frontale, la segnalazione degli allarmi e il tempo effettivo richiesto per la sanificazione. Il ricambio d'aria è invece un'esigenza che il reparto ha fatto emergere successivamente e che non era stata prevista: è un'aggiunta al sistema di esigenze, non un errore del prototipo.

Il risultato più importante però non è stato espresso in un voto, ma si esprime con la disponibilità espressa dal personale di provare il prototipo direttamente in reparto, lasciando la possibilità di organizzare un test tramite un contatto da noi fornito.

Per un progetto realizzato in soli 5 mesi, con una complessità di scenario e di mercato così complessa, questo è l'esito che riteniamo più importante e soddisfacente.

Appendici

Appendice A

Domande e risposte del 15/06/2026 sottoposte agli operatori del C.R.A.S.

DOMANDE

1. COM'È NATO?

R: Non trattato in questo incontro. (Da chiedere — vedi "Altre domande".)

2. COME SIETE ORGANIZZATI? PERSONE, RUOLI. DA CHI È COMPOSTO IL CENTRO?

R: L'associazione è composta da un direttivo di cinque persone. C'è un responsabile, affiancato da una direttrice sanitaria e da un coordinatore. Sotto ci sono i dipendenti e, sotto di loro, i volontari: lavoratori di pubblica utilità, PCTO, alternanza scuola-lavoro e chiunque voglia dare una mano. In termini di numeri: un solo direttore sanitario, quattro keeper (dipendenti) e circa 300-340 persone che collaborano con il centro.

3. QUALI SONO I RUOLI DI CIASCUN COMPONENTE DEL C.R.A.S.?

R: Il responsabile si occupa, sul piano amministrativo, soprattutto di progettazione e di risorse umane. La direttrice sanitaria gestisce la parte veterinaria e le risorse umane dei keeper, per quanto riguarda cura, primo soccorso e degenza degli animali. Gli altri svolgono mansioni operative: alimentazione, pulizia delle gabbie, recuperi e tutte le attività di campo (i keeper).

4. AMBIENTE INTERNO: COM'È STRUTTURATO? QUALI STRUTTURE CI SONO?

R: C'è una direzione e poi la parte animali. L'animale arriva, viene registrato in accettazione e spostato nella stanza triage (che oggi funge anche da infermeria). Dopo la visita del veterinario viene destinato secondo le sue esigenze (degenza interna o esterna) o agli interventi/trattamenti. La struttura nuova è in sostanza la parte vecchia rinnovata.

5. COME VIENE GESTITA L'EMERGENZA, IL RECUPERO E LA DEGENZA FINO AL RILASCIO?

R: Accettazione → riconoscimento dell'animale e raccolta dati di chi l'ha recuperato. Prima visita: ispezione per capire se le condizioni cliniche sono critiche. Se critiche, protocollo differente (no visita completa, perché i selvatici si stressano): ossigeno, fluidi, termoregolazione. Se stabili, visita completa, impostazione terapie e iter. Durante le terapie l'animale sta in zona chiusa per essere accessibile ogni giorno. Poi fase riabilitativa in gabbie/voliere esterne (gli uccelli recuperano la capacità di volo, i mammiferi tornano in ambiente più naturale), con spazi progressivamente più grandi, fino alla reintroduzione in natura.

Sul rilascio: l'autorizzazione è provinciale; non ci sono normative ministeriali specifiche, solo consigli (liberare in zone di passaggio, mai in città). Dati di arrivo trasmessi settimanalmente, liberazioni mensilmente, all'ufficio provinciale.

6. A LIVELLO REGIONALE, LOCALE E NAZIONALE: COME FUNZIONA? RAPPORTI CON GLI ALTRI C.R.A.S.?

R: La legge regionale 5/2018 attribuisce a comuni, province, ATC (ambiti territoriali di caccia), CA (comprensori alpini) e Città metropolitana di Torino il soccorso della fauna selvatica; non potendolo fare, lo demandano ai centri di recupero, che si convenzionano solo se fanno parte della rete regionale. Oggi i centri regionali sono tre: Asti, Racconigi e Bernezzo. Incontri ogni 3-4 mesi, soprattutto per i fondi (la regione copre solo parte delle spese). Tra centri c'è supporto telefonico e scambio di competenze (Racconigi più specializzato in anatidi/uccelli acquatici, Bernezzo in mammiferi e chirotteri). Auspicata una rete/chat condivisa tra tutti i centri, oggi non sostenibile per i costi di gestione.

7. STATO DELL'ARTE DEGLI ANIMALI?

R: Aumenti esponenziali, come per tutti i centri: +150 animali rispetto al 2025, +450 l'anno prima rispetto al 2024. Cause: riscaldamento globale, antropizzazione (più animali in città), maggiore conoscenza del centro, e una sensibilità a volte dannosa (animali prelevati senza necessità). Il riscaldamento porta nidiate più frequenti (piccoli di colombo/colombaccio anche d'inverno). Per questo è stato aperto uno sportello ambientale per informare i cittadini (non dare cibo alla fauna, gestione di volpi, tassi, serpenti, ecc.).

8. QUALI ANIMALI SEGUITE? QUANTITÀ ANNUE E TIPOLOGIE?

R: Tutti i tipi, anche oltre l'obbligo di legge (che tutela solo la fauna omeoterma): anche animali a sangue freddo (salamandre, rospi, serpenti). Esclusi i pesci. Crescita da 80 animali nel 2022 a 2000 nel 2026. Tipologie: uccelli, mammiferi, rettili, anfibi. Maggiormente i piccoli volatili; l'animale più frequente l'anno scorso è stato il riccio (135 arrivi), probabilmente per cattiva divulgazione.

9. QUAL È L'OBIETTIVO DEL NOSTRO PROGETTO?

R: Progettare una camera calda modulare (stampa 3D, open source), studiata in primis per i pipistrelli — il C.R.A.S. vuole diventare punto di riferimento regionale sui chirotteri, dato che in Piemonte l'osservatorio dei pipistrelli non esiste più — ma ampliabile con moduli per piccoli volatili e altre specie. Il caldo è considerato una "medicina" fondamentale.

10. PROBLEMATICHE DI CIASCUN ANIMALE IN RELAZIONE AGLI OBIETTIVI?

R: La criticità chiave è il controllo della temperatura e dell'umidità, e la possibilità per l'animale di scegliere la zona termica adatta (l'animale "sa" di cosa ha bisogno, l'operatore no). Le camere a temperatura unica (es. 28°C fissi) non danno via di fuga. Serve quindi gradiente termico (più strati, es. 3°C per strato, fino anche a ~10°C di escursione) e zone di fuga dal calore. Per i pipistrelli: un lato riscaldato + superficie per arrampicarsi. Riscaldamento graduale (mai da ghiacciato a 35°C di colpo); ipotizzato un microcontrollore per rampe automatiche (es. shock ipotermico). Umidità da controllare per non far seccare gli animali.

11. PROSPETTIVE DI CRESCITA IN DEGENZA (PRIMO CENTRO PER PIPISTRELLI)?

R: Da zero pipistrelli (prima ignorati) a circa 70-140 l'anno scorso [dato da confermare]. A parità di densità di popolazione, ~97 pipistrelli vs ~110 piccioni: per i pipistrelli è una pressione enorme. Mortalità l'anno scorso altissima, quest'anno in miglioramento. Dati precisi (arrivi/morti/liberati) saranno forniti dal C.R.A.S.

12. DATI SU MORTALITÀ, RECUPERO, MANTENIMENTO E LIBERAZIONE?

R: Circa 50% di mortalità, 45-47% di rilascio, il resto resta come animali non rilasciabili (degenza permanente + divulgazione/animali visitabili). Cause principali di arrivo e mortalità: trauma da urto e immaturo (piccoli non autosufficienti). Difficoltà a sostituirsi ai genitori nello svezzamento: alta mortalità proprio alla fase di uscita dal nido. In natura la sopravvivenza è comunque bassissima (es. il merlo fa ~10 piccoli/estate, ne sopravvive ~1).

13. CAMERA CALDA

13.1 SISTEMI DI RISCALDAMENTO

13.1.1 Quali sistemi conoscete? Dispositivi in struttura? Costi camere calde/tappetini?

R: Due sistemi noti/usati: (a) a ventola d'aria — sconsigliato per piccoli o animali in piuma (disidratazione); (b) a parete coibentata che scalda su tre lati — quello usato abitualmente. Soluzione preferita: tappetino caldo inseribile su 1-3 lati, per rendere la camera polifunzionale (es. solo parete posteriore per il pipistrello, o ripiani riscaldati per piccoli mammiferi).

Costi: camera piccola (con ventolina, non funzionante bene) ~350 €; camere grandi con quattro divisori ~1000-1200 €, quindi ~300 € a scomparto. [Costo dei soli tappetini non indicato.]

13.1.2 Dimensioni ottimali delle camere calde?

R: Dipende dall'animale: per un biancone con serpenti serve ~1 m × 1 m; per uccellini piccoli, più piccola è meglio, per poterli dividere. La più piccola adatta a un individuo o a un nido è una 30×30. Dimensioni attuali: 30×30, 50×50, 70×70 e ~1 m × 70 cm. Interessante l'idea modulare a nido d'ape (pannelli che si uniscono, dimensione variabile).

13.1.3 Quante camere servono per un'associazione come la vostra?

R: Attualmente ne hanno circa una quindicina, di cui quattro divise ulteriormente in quattro. Preferenza per più camere piccole anziché grandi camere ridivise internamente.

13.1.4 Necessità specifiche?

R: Pannelli lisci e lavabili; gradiente termico e zone di fuga; supporti interni (posatoi, superficie arrampicabile a nido d'ape); accessori dedicati per individuo (vedi 13.8 e sezione nutrizione/accessori).

13.2 CONTROLLO AUTOMATICO (TERMOSTATI / SENSORI IoT)

13.2.1 Che sensori ci sono?

R: Termostato per la temperatura interna; sensore per la temperatura esterna; igrometro per l'umidità; sensore tipo Arduino per CO2 / qualità dell'aria [da verificare]. Ricambio d'aria preferibilmente passivo (fori in basso e in alto), non con ventola (fa passare troppa aria).

13.2.2 Quali funzioni di monitoraggio includere?

R: Monitoraggio continuo di temperatura (interna ed esterna) e umidità; storico dei dati tramite PLC o Raspberry, rianalizzabile (es. curva gaussiana / grafico cartesiano). Possibile logica a rampa per il riscaldamento graduale.

13.3 ISOLAMENTO TERMICO

13.3.1 Che sistemi di isolamento ci sono?

R: Pannello "sandwich" semplice (due lamiere con schiuma poliuretanica all'interno, in cui è annegata la resistenza). Gli altri isolanti sono sconsigliati perché rilasciano polvere. Serve soprattutto per l'efficientamento energetico: nella struttura nuova le stanze saranno a 20°C (riscaldamento a pavimento), quindi il delta termico da coprire fino ai ~30°C interni sarà

ridotto.

13.3.2 Quali più adatti per gli animali?

R: Materiali lisci e facilmente lavabili. Le parti tipo nido d'ape devono essere removibili e lavabili sotto l'acqua.

13.4 MODULARITÀ PER SPECIE

13.4.1 È possibile stabilire temperature idonee per specie diverse?

R: Sì, ma senza grande differenziazione per specie: i volatili hanno ~42°C di temperatura interna, ma la variabilità dipende soprattutto dalle condizioni cliniche (ipotermico → più caldo; stabile → più basso). Non si supera mai i 37°C; range operativo utile 20-37°C copre tutte le necessità.

13.4.2 Di cosa hanno bisogno?

R: Strutture interne adeguate: posatoi e supporti per la fase post-nido (l'animale resta in camera calda ma inizia a muoversi/arrampicarsi). Per i pipistrelli: superficie per arrampicarsi (nido d'ape). Per gli uccellini: coppa del nido. Ciotoline specifiche (cibo/acqua) con bordi alti per trattenere il cibo vivo; panni/straccetti per nascondersi.

13.4.3 Che strumentazioni utilizzate tipicamente?

R: Pinzette per imbeccare (idealmente una per individuo, fattibili anche in stampa 3D, con gancetto per camera, per ridurre i contagi). Per animali critici: pompa di infusione + sacca fluidi (oggi su stativo portatile; utile un aggancio fisso sulla camera). Attacco/innesto per l'ossigeno (idealmente con più uscite per distribuzione uniforme; valutare la camera come camera d'ossigeno, con vincoli normativi per l'infiammabilità). Porte preferibilmente scorrevoli (apertura controllata, l'animale non scappa).

13.5 COSTO / EFFICIENZA

13.5.1 Quanto consumano?

R: Consumo energetico non quantificato nell'incontro. Indicati solo i costi d'acquisto (vedi 13.1.1). Obiettivo del progetto: soluzione open source a basso costo (~300 € o meno per la camera piccola), replicabile da altre associazioni. (Dato sui consumi da approfondire — vedi "Altre domande".)

13.6 STANDARD DI RIFERIMENTO (linee guida C.R.A.S. europei per la termoregolazione)

R: Non esistono standard specifici di riferimento per le camere calde.

13.7 NORMATIVE / LEGGI SU COME GESTIRE UN ANIMALE?

R: Esistono linee guida di tipo veterinario, non per singola specie: le normative europee sul benessere animale (le cinque libertà). Indicazioni valide ma non prescrizioni operative specifiche.

13.8 QUALI KIT DIVERSI E COSA CONTERREBBERO? IN COSA SI DIFFERENZIANO?

R: A differenziare è il supporto interno della camera. Kit pipistrello: superficie per arrampicarsi (parete a nido d'ape, dato che le pareti devono restare lisce), ciotoline specifiche, panno per nascondersi. Kit uccello: coppa del nido + pinzetta, ciotoline (cibo/acqua), panno. Elementi comuni: ciotoline a bordo alto, panni, pinzetta dedicata.

Chirotteri (Sospensione): L'animale resta appeso per l'intera degenza o solo in specifiche fasi post-trauma?RESTA APPESO PER TUTTO IL TEMPO

Sensibilità Luce: Avete protocolli scritti/dati clinici sullo stress da fototropismo negativo o è una nozione generale? BISOGNA CERCARE DI RISPETTARE I CLICI CIRCADIANI, PER GLI ANIMALI NOTTURNI SEMPRE AL BUIO, IN GENERALE NEL PRIMO PERIODO AL BUIO PER EVITARE STRESS

Micro-tane a tasca: Usate già soluzioni in tessuto? Se sì, con quali materiali, forme e dimensioni? TANE IN LANA, NASCONDIGLI IN LEGNO A SECONDA DELLA SPECIE

B. Accessori Specie-Specifici

Chirotteri (Sostegno): Serve un aggancio passivo per esemplari debilitati o basta la presa autonoma?

Chirotteri (Superficie): Qual è il materiale ideale per gli artigli (tessuto, rete, silicone, PETG testurizzato)? DI SOLITO USIAMO LA ZANZARIERA

Chirotteri (Capienza): Quanti individui ospitate in media per singolo modulo nei ricoveri multipli? 2-3

Piccoli Mammiferi (Spazio): Qual è la superficie planare minima richiesta (es. riccio vs scoiattolo vs faina)? 50X50X50

Piccoli Mammiferi (Occultamento): Serve una tana interna fisica o basta oscurare il pannello trasparente esterno? MEGLIO TANA

Piccoli Mammiferi (Resistenza): Quali specie rischiano di morderlo o danneggiare gli accessori interni? RODITORI (ghiri scoiattoli) TUTTO PARTE SE HANNO UN BUCO DA DOVE INIZIARE A ROSICCHIARE

Avifauna (Piumaggio): Quali spazi o materiali evitate attualmente per non rovinare le piume? LE PARETI LISCE SONO SUFFICIENTI PER EVITARE ROTTURA DEL PIUMAGGIO

Avifauna (Posatoio): Deve essere removibile? Che range di diametri serve (da passeriformi a giovani rapaci)?10mm-30mm

Avifauna (Nidiacei): Serve un supporto a nido/coppetta dedicato al posto del posatoio? SI

Avifauna, Chirotteri, Piccoli mammiferi: Come mettiamo l'acqua al loro interno? SERVIREBBE UNA CIOTOLA DI DIAMETRO 5 CM E ALTEZZA 10-15mm

C. Sistema Meccanico (Frame Esagonale + Pin)

Sicurezza Superfici: Il pin in PETG stampato richiede una copertura protettiva (stoffa/silicone) a contatto con l'animale?

Carico Massimo: Qual è il peso massimo stimato per singolo punto di aggancio? 150 GR

Sanificazione: Con che frequenza e modalità disinfettate gli accessori interni? PULIZIA GIORNALIERA, DISINFEZIONE SETTIMANALE

Tempi di Cambio: Quanto tempo ha l'operatore per riconfigurare il modulo in emergenza? IL TEMPO NECESSARIO

Errori di Montaggio: Serve una codifica visiva (es. colori) per evitare l'inserimento errato degli accessori? SI

D. Gestione Ambientale, Clinica e Fonti

Documentazione Interna: Potete condividere linee guida o protocolli interni (es. gestione termica o comportamentale)? SI

Temperatura (Range): Vi serve un intervallo da 33–35°C (neonati) fino a 20°C (adulti)? SI CORRETTO

Temperatura (Precisione): Ritenete necessario un controllo digitale con tolleranza +/- 0.5°C? OK

Temperatura (Gradiente): Occorre creare una zona calda e una fresca nello stesso modulo? SE FOSSE POSSIBILE SI, COSI' L'ANIMALE DECIDE DOVE STARE

Temperatura (Luce): Usate esclusivamente fonti di calore senza emissione luminosa? PER ALCUNI TIPI DI UCCELLI ANCHE LE LAMPADE A INFRAROSSO MA SCALDANO TROPPO

Umidità (Target): Il range operativo richiesto è stabilmente tra 50% e 70% UR? SI

Umidità (Tecnologia): Serve un umidificatore attivo (ultrasuoni) o bastano vaschette d'acqua passive? NON SEMPRE BASTA LA VASCHETTA, DIPENDE SEMPRE DALLA TEMPERATURA E QUINDI DALL'EVAPORAZIONE

Aerazione (Ricambio d'aria): Come evitate l'accumulo di CO2/ammoniaca senza creare correnti? Le ventole sono accettabili? SI MA DEVONO ESSERE CONTROLLATE, DI SOLITO IL RICAMBIO D'ARIA NATURALE VIENE FATTO CON FORI BASSI DA UN LATO E DAL LATO OPPOSTO FORI ALTI

Aerazione (Filtrazione): I filtri HEPA/anti-polvere sono indispensabili per prevenire patogeni (es. Aspergillus)? SAREBBERO MOLTO UTILI

Stress (Isolamento visivo): Servono pareti cieche o oscurabili contro stress e imprinting? SI

Stress (Rumore): Qual è la soglia di tolleranza al rumore della ventilazione per i degenti? PIU' BASSO E' IL RUMORE MEGLIO è PER L'ANIMALE

Igiene (Resistenza chimica): Quali disinfettanti usate quotidianamente (es. F10, clorexidina, sali d'ammonio)? F10

Uso Medico (Terapie): Serve la predisposizione integrata per ossigenoterapia e aerosol/nebulizzazione? SI

Uso Medico (Pulizia rapida): È necessario un fondo/cassetto estraibile per cambiare le traversine senza disperdere calore? SAREBBE MOLTO UTILE

Appendice B

RIEPILOGO DEI COSTI

C_mat — materiale	27,10 €	15,5%	filamento consumato, comprensivo di supporti e scarti
C_ele — energia elettrica	1,03 €	0,6%	P0 · t0 · EP sull'intero lotto
C_sta — manodopera	129,63 €	74,0%	presidio macchina: n cicli × t_set × PPH
C_mac — ammortamento macchin	15,13 €	8,6%	t0 × MHR
C_post — post-processo	2,40 €	1,4%	dal foglio 'Post-processo'
C_tot	175,28 €	100,0%	

INDICATORI

Tempo macchina totale	41,07	h	ore di stampa per un esemplare completo
Giorni di macchina (24 h/giorno)	1,71	gg	vincolo di pianificazione, non di costo
Cicli di stampa totali	38,89	cicli	numero di volte che qualcuno tocca la macchina
Massa totale di filamento	1,08	kg	bobine da consumare
Costo orario medio di produzione	4,27	€/h	C_0tot diviso il tempo macchina

DETTAGLIO PIATTI DI STAMPA E COSTI

Parte (parte)	70.00	39.80	0.80	0.35	16.20	809.50	10·00 €	0.42 €	66.48 €	0.89 €	67.79 €	26.8%	4 per ogni parte
Clip frame	70.00	5.65	0.80	0.35	1.11	9.61	0.40 €	0.83 €	9.19 €	0.45 €	10.04 €	7.9%	1 per piano
Distanziale frame femmina	107.00	48.7	1.80	1.11	1.93	33.64	1.34 €	0.80 €	3.29 €	0.73 €	5.83 €	3.4%	
Distanziale frame maschio	95.00	39.80	1.80	1.11	1.97	34.47	0.93 €	0.54 €	3.29 €	0.58 €	5.34 €	3.0%	
Pin	9.00	4.79	4.80	4.44	0.69	25.48	0.51 €	0.62 €	16.31 €	0.33 €	17.67 €	9.9%	4 per i supporti verticali e orizzontali
Supporti verticali	20.00	5.55	1.80	1.11	0.43	4.77	0.35 €	0.01 €	3.29 €	0.16 €	3.82 €	2.2%	
Modulo connettore	5.00	1.25	1.80	1.11	0.09	1.39	0.03 €	0.00 €	3.29 €	0.03 €	3.37 €	2.0%	quantità variabile secondo necessità
Sostegno di connessione	65.00	48.00	1.80	1.11	1.56	51.44	2.16 €	0.86 €	3.29 €	0.93 €	7.55 €	4.3%	
Coperchio scatola di derivazione	75.00	49.80	1.80	1.11	1.61	54.04	1.56 €	0.04 €	3.29 €	0.93 €	5.83 €	3.3%	
Passacavi	24.00	5.80	1.80	1.11	0.44	5.54	0.84 €	0.01 €	3.29 €	0.16 €	4.32 €	2.5%	
Alloggio per sensore	27.00	8.64	1.80	1.11	0.60	9.62	0.38 €	0.01 €	3.29 €	0.28 €	4.26 €	2.4%	
Maniglia	30.00	15.95	1.80	1.11	0.69	18.03	0.47 €	0.01 €	3.29 €	0.33 €	4.11 €	2.3%	
Angolari	508.00	44.50	1.80	1.11	9.48	368.41	4.71 €	0.04 €	3.29 €	3.47 €	14.11 €	8.0%	
Bottoni dei magneti	8.00	2.22	1.80	1.11	0.18	3.88	0.09 €	0.00 €	3.29 €	0.09 €	3.48 €	2.0%	
Piedini regolabili	40.00	21.60	1.80	1.11	1.11	24.05	0.60 €	0.03 €	3.29 €	0.43 €	4.35 €	2.5%	
Schermo	107.00	96.30	1.80	1.11	2.23	48.61	1.97 €	0.06 €	3.29 €	0.87 €	6.19 €	3.5%	
Supporto sensore umidità	8.00	2.89	1.80	1.11	0.18	3.88	0.07 €	0.00 €	3.29 €	0.09 €	3.45 €	2.0%	
Supporto sensore qualità dell'aria	5.00	1.25	1.80	1.11	0.11	1.39	0.04 €	0.00 €	3.29 €	0.04 €	3.76 €	2.1%	
Supporto sensore temperatura	8.00	0.84	1.80	1.11	0.09	0.94	0.02 €	0.00 €	3.29 €	0.03 €	3.76 €	2.2%	
TOTALE			39.20	28.89	41.07	1.060,94	27.20 €	5.83 €	179.43 €	15.13 €	172.28 €	100.0%	

PARAMETRI DI INPUT

MATERIALE			
Prezzo del filamento	MP	25,00 €	€/kg
Costo materiale per grammo		0,0250 €	€/g
ENERGIA			
Potenza media assorbita dalla stampante	P0	100,00	W
Prezzo dell'energia elettrica	EP	0,2500 €	€/kWh
MACCHINA — costo orario MHR			
Prezzo d'acquisto della stampante		700,00 €	€
Vita utile ammortizzabile		5,00	anni
Deprezzamento medio annuo	MD	140,00 €	€/anno
Costi di manutenzione	MC	60,00 €	€/anno
Tasso di interesse sul capitale		3,0%	%
Interesse sul capitale investito	I	21,00 €	€/anno
Tempo operativo del sistema nell'anno	OT	600,00	h/anno
Costo orario macchina	MHR	0,3683 €	€/h
MANODOPERA			
Costo orario dell'operatore	PPH	25,00 €	€/h
Tempo di presidio per ciclo	t_set	8,00	min/ciclo
Numero di operatori	k	1,00	-
RESA			
Resa delle stampe	η	90,0%	%

POST-PROCESSO

Inserti filettati a caldo (pose)	16,00	pz	0,15 €	2,40 €	ESEMPIO COMPILATO — sostituire con il dato reale
Rimozione supporti e sbavature	0,00	h	25,00 €	0,00 €	manodopera: quantità in ore, costo unitario = PPH
Carteggiatura / finitura superficiale	0,00	h	25,00 €	0,00 €	
Incollaggio / assemblaggio a colla	0,00	pz	0,00 €	0,00 €	
Verniciatura o trattamento	0,00	pz	0,00 €	0,00 €	
Altro	0,00	-	0,00 €	0,00 €	
C_post TOTALE				2,40 €	

Appendice C

Trascrizione integrale delle tre risposte raccolte il 17 agosto 2026 presso il C.R.A.S. al questionario online "Valutazione del prototipo – Camera calda C.R.A.S.", diviso in dieci sezioni a ricalco del sistema di esigenze del progetto. Hanno risposto tre persone che operano in reparto, tutte dopo aver visto il prototipo funzionare dal vivo; una di loro lo aveva anche maneggiato per alcuni minuti. I recapiti lasciati in coda al questionario e i nomi sono stati omessi in questa sede per tutela della riservatezza dei rispondenti.

R1 — // (coordinamento, oltre 5 anni di servizio)

Compilato il 2026/08/17 9:07:35 AM (ora dell'Europa orientale)

1. Informazioni sul rispondente

1.1 Nome (facoltativo)

//

1.2 Il tuo ruolo al C.R.A.S.

Coordinamento / direzione

1.3 Da quanto tempo lavori o presti servizio al C.R.A.S.

Oltre 5 anni

1.4 Quante volte a settimana usi una camera calda

Ogni giorno

1.5 Che contatto hai avuto con il prototipo

L'ho toccato e provato per pochi minuti

2. Controllo della temperatura

2.1 Impostare la temperatura desiderata è risultato

Va bene

2.2 Capire, guardando il sistema, se sta scaldando o no

Va bene

2.3 Avere una zona più calda e una più fresca nello stesso modulo, così che l'animale scelga dove stare

Indispensabile, è quello che manca oggi

2.4 Ti fideresti a lasciare un animale in questa camera per un'intera notte, senza controlli?

Sì, ma solo per specie non critiche

2.5 Cosa cambieresti nel controllo della temperatura

nulla

3. Umidità e ricambio d'aria

3.1 La lettura dell'umidità sul display è

Va bene

3.2 L'umidificazione a vaschetta, senza nebulizzatore, per il vostro uso è

Accettabile solo per alcune specie

3.3 Quanto ti preoccupa dover ricordare di riempire la vaschetta?

Abbastanza: serve un promemoria o un allarme

3.4 Il ricambio d'aria ti sembra sufficiente per evitare odore e ristagno

Sì

3.5 Cosa cambieresti su umidità e aria

nulla

4. Interfaccia e schermo

4.1 Leggibilità di quello che c'è scritto sullo schermo

Va bene

4.2 Capire dove ti trovi nel menu e come tornare indietro

Va bene

4.3 La manopola (girare per scegliere, premere per confermare) è

Va bene

4.4 Sapresti usarlo senza che nessuno te lo spieghi?

Sì, dopo qualche tentativo

4.5 Riusciresti a leggere lo schermo con una mano occupata da un animale?

Sì

4.6 C'è una schermata o una scritta che non hai capito? Quale

—

4.7 Cosa cambieresti nell'interfaccia

nulla

5. Allarmi e sicurezza

5.1 Se il sistema andasse in allarme mentre sei in un'altra stanza, te ne accorgeresti?

Solo passando davanti alla camera

5.2 Un allarme che compare solo sullo schermo, senza suono e senza spia, è

Sufficiente per l'uso in reparto

5.3 Poter silenziare un avviso ricorrente ti sembra

Utile solo se il silenziamento scade da solo

5.4 Quanto ti senti sicuro che il sistema non possa surriscaldare l'animale

Abbastanza

5.5 Cosa ti serve sapere o vedere per fidarti di più

buzzer

6. Uso quotidiano

6.1 Estrarre e reinserire il cassetto di fondo

Va bene

6.2 Sostituire un accessorio (posatoio, tana)

Va bene

6.3 Rimuovere e rimettere la ciotola

Va bene

6.4 Capire da solo il verso giusto di montaggio di un pezzo

Va bene

6.5 Aprire la camera per intervenire sull'animale, con una mano sola

Difficile

6.6 C'è un gesto che ti è sembrato scomodo o innaturale? Descrivilo

—

6.7 Cosa cambieresti nell'uso quotidiano

modifica apertura porta

7. Pulizia e sanificazione

7.1 Le superfici interne ti sembrano pulibili senza punti critici

Sì

7.2 Smontare tutto per la sanificazione ti sembra

Lungo ma accettabile

7.3 Quali punti ti preoccupano per lo sporco o i residui?

Angoli e spigoli interni

7.4 Ti fideresti a usare il vostro disinfettante abituale su questi materiali?

Sì

7.5 Cosa cambieresti per la pulizia

nulla

8. Formato e dimensioni

8.1 Per quanti dei vostri ricoveri reali il formato 27 litri è adatto?

La maggior parte

8.2 Per quali specie o situazioni useresti un 27 litri

dal nidiaceo al piccolo falco

8.3 L'idea di comporre più moduli per ottenere formati diversi ti sembra

Convincente

8.4 Quali misure ti servirebbero davvero, se potessi ordinarle?

—

9. Confronto con la camera calda attuale

9.1 Rispetto alla camera calda che usate adesso, questo prototipo è

Migliore

9.2 Su cosa esattamente è migliore

dimensione e funzionalità per inserimento oggetti

9.3 Su cosa esattamente è peggiore

superfici liscie

9.4 Cosa ti preoccupa se dovessi usarlo ogni giorno per un mese?

nulla

9.5 Lo adottereste in reparto così com'è

Sì, con qualche aggiustamento

10. Priorità e disponibilità alla prova

10.1 Se potessimo sistemare solo tre cose, quali?

Ricambio d'aria, Segnalazione degli allarmi (suono o spia), Apertura e accesso all'animale

10.2 E se potessimo sistemarne una sola?

Apertura e accesso all'animale

10.3 C'è qualcosa che vi serve e che questo prototipo non fa affatto?

—

10.4 Qualcosa che ti è piaciuto e che non dobbiamo cambiare

display

10.5 Saresti disponibile a una prova d'uso di alcuni giorni in reparto?

Sì

10.6 Se hai risposto sì, lascia un contatto

[contatto omesso per riservatezza]

R2 — // (veterinaria, meno di 6 mesi di servizio)

Compilato il 2026/08/17 9:13:57 AM (ora dell'Europa orientale)

1. Informazioni sul rispondente

1.1 Nome (facoltativo)

//

1.2 Il tuo ruolo al C.R.A.S.

Veterinario

1.3 Da quanto tempo lavori o presti servizio al C.R.A.S.

Meno di 6 mesi

1.4 Quante volte a settimana usi una camera calda

Ogni giorno

1.5 Che contatto hai avuto con il prototipo

L'ho solo visto in funzione, senza toccarlo

2. Controllo della temperatura

2.1 Impostare la temperatura desiderata è risultato

Va bene

2.2 Capire, guardando il sistema, se sta scaldando o no

Va bene

2.3 Avere una zona più calda e una più fresca nello stesso modulo, così che l'animale scelga dove stare

Indispensabile, è quello che manca oggi

2.4 Ti fideresti a lasciare un animale in questa camera per un'intera notte, senza controlli?

Sì

2.5 Cosa cambieresti nel controllo della temperatura

Allarme acustico se si spegne

3. Umidità e ricambio d'aria

3.1 La lettura dell'umidità sul display è

Va bene

3.2 L'umidificazione a vaschetta, senza nebulizzatore, per il vostro uso è

Adeguata

3.3 Quanto ti preoccupa dover ricordare di riempire la vaschetta?

Poco: rientra nella routine

3.4 Il ricambio d'aria ti sembra sufficiente per evitare odore e ristagno

No

3.5 Cosa cambieresti su umidità e aria

Miglior ricircolo aria

4. Interfaccia e schermo

4.1 Leggibilità di quello che c'è scritto sullo schermo

Da migliorare

4.2 Capire dove ti trovi nel menu e come tornare indietro

Da migliorare

4.3 La manopola (girare per scegliere, premere per confermare) è

Va bene

4.4 Sapresti usarlo senza che nessuno te lo spieghi?

Sì, dopo qualche tentativo

4.5 Riusciresti a leggere lo schermo con una mano occupata da un animale?

Sì

4.6 C'è una schermata o una scritta che non hai capito? Quale

No

4.7 Cosa cambieresti nell'interfaccia

Grafica

5. Allarmi e sicurezza

5.1 Se il sistema andasse in allarme mentre sei in un'altra stanza, te ne accorgeresti?

Solo passando davanti alla camera

5.2 Un allarme che compare solo sullo schermo, senza suono e senza spia, è

Insufficiente: serve un segnale acustico

5.3 Poter silenziare un avviso ricorrente ti sembra

Utile

5.4 Quanto ti senti sicuro che il sistema non possa surriscaldare l'animale

Abbastanza

5.5 Cosa ti serve sapere o vedere per fidarti di più

Provare il prototipo

6. Uso quotidiano

6.1 Estrarre e reinserire il cassetto di fondo

Va bene

6.2 Sostituire un accessorio (posatoio, tana)

Va bene

6.3 Rimuovere e rimettere la ciotola

Va bene

6.4 Capire da solo il verso giusto di montaggio di un pezzo

Va bene

6.5 Aprire la camera per intervenire sull'animale, con una mano sola

Difficile

6.6 C'è un gesto che ti è sembrato scomodo o innaturale? Descrivilo

Rimozione porta per riporla altrove

6.7 Cosa cambieresti nell'uso quotidiano

Porta o con vano per posizionarla o porta non rimovibile

7. Pulizia e sanificazione

7.1 Le superfici interne ti sembrano pulibili senza punti critici

Sì

7.2 Smontare tutto per la sanificazione ti sembra

Troppo lungo

7.3 Quali punti ti preoccupano per lo sporco o i residui?

Angoli e spigoli interni, Cassetto e sue guide

7.4 Ti fideresti a usare il vostro disinfettante abituale su questi materiali?

Sì

7.5 Cosa cambieresti per la pulizia

Devo prima provare il prototipo

8. Formato e dimensioni

8.1 Per quanti dei vostri ricoveri reali il formato 27 litri è adatto?

Circa metà

8.2 Per quali specie o situazioni useresti un 27 litri

Pipistrelli -piccoli uccelli-

8.3 L'idea di comporre più moduli per ottenere formati diversi ti sembra

La soluzione giusta al problema degli spazi

8.4 Quali misure ti servirebbero davvero, se potessi ordinarle?

Per misure vedere file già inviato

9. Confronto con la camera calda attuale

9.1 Rispetto alla camera calda che usate adesso, questo prototipo è

Migliore

9.2 Su cosa esattamente è migliore

Monitoraggio, design, forse gestione parametri temp e umidità bisogna provarla

9.3 Su cosa esattamente è peggiore

Rischia di essere complicata e meno gestibile

9.4 Cosa ti preoccupa se dovessi usarlo ogni giorno per un mese?

La pulizia e il ricircolo d'aria

9.5 Lo adottereste in reparto così com'è

Sì, con qualche aggiustamento

10. Priorità e disponibilità alla prova

10.1 Se potessimo sistemare solo tre cose, quali?

Gradiente caldo/freddo, Ricambio d'aria, Facilità di pulizia

10.2 E se potessimo sistemarne una sola?

Gradiente caldo/freddo

10.3 C'è qualcosa che vi serve e che questo prototipo non fa affatto?

—

10.4 Qualcosa che ti è piaciuto e che non dobbiamo cambiare

Monitoraggi

10.5 Saresti disponibile a una prova d'uso di alcuni giorni in reparto?

Sì

10.6 Se hai risposto sì, lascia un contatto

—

R3 — // (coordinamento, 6 mesi–2 anni di servizio)

Compilato il 2026/08/17 9:37:05 AM (ora dell'Europa orientale)

1. Informazioni sul rispondente

1.1 Nome (facoltativo)

//

1.2 Il tuo ruolo al C.R.A.S.

Coordinamento / direzione

1.3 Da quanto tempo lavori o presti servizio al C.R.A.S.

6 mesi – 2 anni

1.4 Quante volte a settimana usi una camera calda

Mai o quasi mai

1.5 Che contatto hai avuto con il prototipo

L'ho solo visto in funzione, senza toccarlo

2. Controllo della temperatura

2.1 Impostare la temperatura desiderata è risultato

Da migliorare

2.2 Capire, guardando il sistema, se sta scaldando o no

Da migliorare

2.3 Avere una zona più calda e una più fresca nello stesso modulo, così che l'animale scelga dove stare

Indispensabile, è quello che manca oggi

2.4 Ti fideresti a lasciare un animale in questa camera per un'intera notte, senza controlli?

Sì, ma solo per specie non critiche

2.5 Cosa cambieresti nel controllo della temperatura

Divisione in zone

3. Umidità e ricambio d'aria

3.1 La lettura dell'umidità sul display è

Va bene

3.2 L'umidificazione a vaschetta, senza nebulizzatore, per il vostro uso è

Insufficiente, serve un umidificatore attivo

3.3 Quanto ti preoccupa dover ricordare di riempire la vaschetta?

Abbastanza: serve un promemoria o un allarme

3.4 Il ricambio d'aria ti sembra sufficiente per evitare odore e ristagno

Non saprei dirlo

3.5 Cosa cambieresti su umidità e aria

Nebulizzatore e areazione attiva

4. Interfaccia e schermo

4.1 Leggibilità di quello che c'è scritto sullo schermo

Va bene

4.2 Capire dove ti trovi nel menu e come tornare indietro

Da migliorare

4.3 La manopola (girare per scegliere, premere per confermare) è

Ottimo

4.4 Sapresti usarlo senza che nessuno te lo spieghi?

Sì, dopo qualche tentativo

4.5 Riusciresti a leggere lo schermo con una mano occupata da un animale?

Sì

4.6 C'è una schermata o una scritta che non hai capito? Quale

No

4.7 Cosa cambieresti nell'interfaccia

Nulla

5. Allarmi e sicurezza

5.1 Se il sistema andasse in allarme mentre sei in un'altra stanza, te ne accorgeresti?

Solo passando davanti alla camera

5.2 Un allarme che compare solo sullo schermo, senza suono e senza spia, è

Insufficiente: serve una spia luminosa visibile da lontano

5.3 Poter silenziare un avviso ricorrente ti sembra

Utile solo se il silenziamento scade da solo

5.4 Quanto ti senti sicuro che il sistema non possa surriscaldare l'animale

Abbastanza

5.5 Cosa ti serve sapere o vedere per fidarti di più

Un prototipo da utilizzare

6. Uso quotidiano

6.1 Estrarre e reinserire il cassetto di fondo

Va bene

6.2 Sostituire un accessorio (posatoio, tana)

Non l'ho provato

6.3 Rimuovere e rimettere la ciotola

Non l'ho provato

6.4 Capire da solo il verso giusto di montaggio di un pezzo

Non l'ho provato

6.5 Aprire la camera per intervenire sull'animale, con una mano sola

Fattibile

6.6 C'è un gesto che ti è sembrato scomodo o innaturale? Descrivilo

No

6.7 Cosa cambieresti nell'uso quotidiano

Serve un aggancio laterale per la porta in plexiglas a magnete

7. Pulizia e sanificazione

7.1 Le superfici interne ti sembrano pulibili senza punti critici

Sì

7.2 Smontare tutto per la sanificazione ti sembra

Lungo ma accettabile

7.3 Quali punti ti preoccupano per lo sporco o i residui?

Nessuno

7.4 Ti fideresti a usare il vostro disinfettante abituale su questi materiali?

Sì

7.5 Cosa cambieresti per la pulizia

Utilizzo del metacrilato per le pareti

8. Formato e dimensioni

8.1 Per quanti dei vostri ricoveri reali il formato 27 litri è adatto?

La maggior parte

8.2 Per quali specie o situazioni useresti un 27 litri

Corvidi, passeriformi, fringillidi, piccioni e colambacci, strigiformi (gufi comuni, assioli, civette) rapaci (gheppi)

8.3 L'idea di comporre più moduli per ottenere formati diversi ti sembra

La soluzione giusta al problema degli spazi

8.4 Quali misure ti servirebbero davvero, se potessi ordinarle?

30x30 componibili

9. Confronto con la camera calda attuale

9.1 Rispetto alla camera calda che usate adesso, questo prototipo è

Migliore

9.2 Su cosa esattamente è migliore

Design accessori e controlli sensori

9.3 Su cosa esattamente è peggiore

Può essere migliorata la porta frontale con magneti più potenti

9.4 Cosa ti preoccupa se dovessi usarlo ogni giorno per un mese?

I bug del software

9.5 Lo adottereste in reparto così com'è

Sì, con qualche aggiustamento

10. Priorità e disponibilità alla prova

10.1 Se potessimo sistemare solo tre cose, quali?

Gradiente caldo/freddo, Umidità e vaschetta, Apertura e accesso all'animale

10.2 E se potessimo sistemarne una sola?

Umidità e vaschetta

10.3 C'è qualcosa che vi serve e che questo prototipo non fa affatto?

Luce interna e webcam

10.4 Qualcosa che ti è piaciuto e che non dobbiamo cambiare

Il sistema ad alveare

10.5 Saresti disponibile a una prova d'uso di alcuni giorni in reparto?

Sì

10.6 Se hai risposto sì, lascia un contatto

[contatto omesso per riservatezza]

Indice delle Figure

Figura 1. Schizzo metaprogettuale della camera calda p. 53
Figura 2. Schizzo descrittivo dei degenti p. 53
Figura 3. Schizzo metaprogettuale sullo studio dei moduli p. 55
Figura 4. Schizzo metaprogettuale sulla trasportabilità del sistema p. 55
Figura 5. Schizzo metaprogettuale di brugola con viti M3: standardizzazione della viteria p. 55
Figura 6. Schizzo metaprogettuale dello schermo informativo della camera calda p. 57
Figura 7. Schizzo metaprogettuale sulla trasportabilità del sistema p. 57
Figura 8. Schizzo metaprogettuale del piedino regolabile p. 58
Figura 9. L'orientamento dei layer e l'influenza sulle proprietà meccaniche (Protolabs, 2024) p. 62
Figura 10. Visibilità dei layer in relazione al modello tridimensionale (Kuczko et al., 2017) p. 62
Figura 11. Schizzo progettuale dell'architettura della camera calda p. 67
Figura 12. Schizzo progettuale delle staffe sviluppate su 3 assi p. 69
Figura 13. Schizzo progettuale del pattern dei frame: esagono modificato per l'inserimento dei pin p. 69
Figura 14. Arduino Nano ESP32 (Fonte: store.arduino.cc) p. 77
Figura 15. Breakout Board Freenove Universal (Fonte: store.freenove.com) p. 77
Figura 16. Sensore termico DS18B20 (Fonte: EPM Elettronica) p. 79
Figura 17. Schermo TFT 1,6 pollici con pulsante e encoder (Fonte: printables.com) p. 79
Figura 18. Sensore di umidità AM 2320 (Fonte: pilover.com) p. 81
Figura 19. Pannello riscaldante 12V 30W (Fonte: amazon.com) p. 81
Figura 20. Relè temporizzato multifunzione (FC-32) a 5V con potenziometro (Fonte: amazon.it) p. 83
Figura 21. Interruttore a bilanciere tondo 20 mm (SPST ON/OFF) con cavi presaldati (Fonte: gangyuantech.com) p. 83
Figura 22. Schema elettrico di potenza p. 84
Figura 23. Schema elettrico di segnale p. 85
Figura 24. Prova di stampa della prima versione del frame progettato p. 90
Figura 25. Fallimento di stampa della prima versione del frame progettato p. 90
Figura 26. Ingrandimento della seconda versione del frame con inclinazione a 45° p. 91
Figura 27. Ingrandimento della seconda versione del frame con inclinazione a 45° e clip inserita p. 91
Figura 28. Prima versione della maniglia con evidenti problematiche di ergonomia p. 92
Figura 29. Vista della prima versione della scatola di derivazione p. 93
Figura 30. Prima versione della scatola di derivazione senza gli inserti filettati p. 93
Figura 31. Vista tridimensionale della camera calda nella sua interezza p. 96
Figura 32. Vista tridimensionale posteriore della camera calda p. 96
Figura 33. Vista tridimensionale frontale della camera calda p. 96
Figura 34. Versione definitiva del frame interno p. 97
Figura 35. Vista frontale della versione definitiva del frame interno p. 97
Figura 36. Clip di connessione dei frame p. 98
Figura 37. Dettaglio ingrandito della clip di connessione dei frame p. 98
Figura 38. Dettaglio sezionato della clip di connessione dei frame p. 99
Figura 39. Dettaglio del pattern dei frame ad esagoni p. 99
Figura 40. Pin inserito all'interno del frame p. 100
Figura 41. Vista a 45° della parte frontale del pin p. 100
Figura 42. Vista a 45° della parte posteriore del pin p. 100
Figura 43. Pin inserito all'interno del frame sezionato p. 101
Figura 44. Esploso assonometrico dell'accoppiamento del pin p. 101
Figura 45. Particolare dell'accoppiamento del pin p. 101
Figura 46. Accoppiamento degli angolari con il frame p. 102
Figura 47. Dettaglio dell'accoppiamento degli angolari con il frame p. 102
Figura 48. Staffa tri-assiale con i fori per le viti M3 e per i magneti p. 103
Figura 49. Parti trasparenti della camera calda per il monitoraggio degli animali p. 103
Figura 50. Vista frontale del PMMA con i bottoni per i magneti inseriti p. 104
Figura 51. Vista posteriore del bottone per l'alloggiamento dei magneti nel PMMA p. 105
Figura 52. Vista anteriore del bottone per l'alloggiamento dei magneti nel PMMA p. 105
Figura 53. Case e supporto dello schermo p. 105
Figura 54. Braccetto di supporto dello schermo p. 105
Figura 55. Case di supporto dello schermo p. 105
Figura 56. Esploso assonometrico del piedino composto da due rondelle, vite centrale e corpo del piedino p. 106
Figura 57. Piedino assemblato in tutte le sue parti p. 106
Figura 58. Vista sezionata del piedino assemblato p. 106
Figura 59. Vista posteriore della scatola di derivazione con fori per le viti e bocchetta per il passaggio dei cavi p. 107
Figura 60. Vista generale della scatola di derivazione con fori e bocchetta per il passaggio dei cavi p. 107
Figura 61. Particolare della bocchetta per il passaggio dei cavi p. 107
Figura 62. Vista frontale dell'alloggiamento per il sensore di umidità p. 108
Figura 63. Supporto per le sonde termiche p. 108
Figura 64. Supporto per il sensore dei gas p. 108
Figura 65. Vista frontale del modulo per l'inserimento del vassoio mediante scorrimento p. 109
Figura 66. Versione definitiva della maniglia p. 109
Figura 67. Le due parti che compongono il modulo tessuto p. 109
Figura 68. Vista sezionata dell'accoppiamento del modulo tessuto p. 109
Figura 69. Vista tridimensionale del file .dxf del vassoio generato tramite MakerCase p. 110
Figura 70. Disposizione delle staffe all'interno dello slicer BambuLab p. 111
Figura 71. Vite del piedino all'interno dello slicer BambuLab p. 111
Figura 72. Render del sistema completo della camera calda p. 120
Figura 73. Render dello schermo all'interno del supporto p. 120
Figura 74. Vista posteriore del render del sistema completo p. 120
Figura 75. Render della camera calda ambientata p. 121
Figura 76. Render degli angolari e del frame interno p. 121
Figura 77. Render delle staffe angolari del sistema p. 121
Figura 78. Panoramica di tutti i piatti di stampa necessari nel progetto all'interno di Bambu Studio p. 123
Figura 79. Frame sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 124
Figura 80. Clip sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 124
Figura 81. Distanziatori del frame femmina sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 124
Figura 82. Distanziatori del frame maschio sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 124
Figura 83. Pin sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 125
Figura 84. Supporti per il vassoio sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 124
Figura 85. Modulo zanzariera sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 124
Figura 86. Scatola di derivazione sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 124
Figura 87. Coperchio della scatola di derivazione sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 126
Figura 88. Passacavi sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 126
Figura 89. Attacchi per tessuto sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 126
Figura 90. Maniglie sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 126
Figura 91. Staffe sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 127
Figura 92. Vista dall'alto delle staffe sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 127
Figura 93. Staffe stampate pronte per essere rimosse dal piatto p. 127
Figura 94. Bottoni per magneti sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 127
Figura 95. Piedini regolabili sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 127
Figura 96. Supporti dello schermo sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 127
Figura 97. Supporto del sensore di umidità sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 128
Figura 98. Supporto del sensore di gas sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 128
Figura 99. Supporto delle sonde termiche sul piatto di stampa in Bambu Studio p. 128
Figura 100. Panoramica di tutte le parti stampate in FDM p. 129
Figura 101. Fase di taglio dei pannelli di MDF p. 133
Figura 102. Assemblaggio delle staffe con viti M3 sull'MDF p. 133
Figura 103. Montaggio e foratura dell'MDF con le prime staffe inferiori p. 133
Figura 104. Inserimento degli inserti filettati nelle staffe p. 135
Figura 105. Assemblaggio del pannello termico e cablaggio p. 135
Figura 106. Montaggio e inserimento dei pannelli esterni tramite viti M3 p. 135
Figura 107. Assemblaggio delle pareti interne e passaggio dei cavi esterni p. 137
Figura 108. Fotografia dettaglio dell'elettronica all'interno della scatola di derivazione p. 137
Figura 109. Frame fissati alla parete con le sonde termiche p. 137
Figura 110. Il prototipo completo p. 138
Figura 111. Particolare dello schermo p. 138
Figura 112. Dettaglio dello schermo acceso sul prototipo p. 138
Figura 113. Pannello in PMMA con la maniglia in PETG p. 139
Figura 114. Particolare dei piedini della camera calda p. 139
Figura 115. Frame fissati alla parete con il modulo zanzariera p. 139
Figura 116. Schermate dell'interfaccia dello schermo p. 142
Figura 117. Logo della camera calda Needra p. 143
Figura 118. Tavola del benchmark p. 151
Figura 119. Schema dell'LCA (Fonte: Swiss Federal Office for the Environment BAFU, 2022) p. 152
Figura 120. Grafico dei risultati dell'LCA p. 154

Bibliografia

- Adams, M. E., Buckley, D. J., & Colborn, R. E. (1993). Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Polymers. Rapra Technology.
- Alsoufi, M. S., & Elsayed, A. E. (2017). Warping Deformation of Desktop 3D Printed Parts Manufactured by Open Source Fused Deposition Modeling (FDM) System. International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 17(4), 7–16.
- Andrew Peacock. (2000). Handbook of Polyethylene (1st Edition).
- Arduino. (2026). Arduino Nano ESP32—Datasheet. Arduino S.r.l. https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/ABX00083-datasheet.pdf
- BigRep GmbH. (2025). BigRep rPETG — Technical Data Sheet. https://bigrep.com/filaments/rpetg/
- ecoinvent Association. (2022). Ecoinvent database (Versione 3.9) [Online database]. ecoinvent Association. https://ecoinvent.org/life-cycle-assessment/
- ELCD 3.2 (European Reference Life Cycle Data System). (2015). [Dataset]. https://nexus.openlca.org/database/ELCD
- Elenco Cras Italia. (s.d.). Recuperato https://elencocras.it/
- Elizabeth Mullineaux (Editor), Emma Keeble (Editor). (2017). BSAVA Manual of Wildlife Casualties.
- Freenove. (s.d.). Tutorial of Breakout Board (mod. FNK0101). Freenove. Recuperato https://docs.freenove.com/projects/fnk0101/en/latest/fnk0101/codes/tutorial/1_Freenove_Breakout_Board.html
- Gage, L. J., & Duerr, R. S. (2022). Care of Orphaned Native Birds and Mammals. Merck & Co. MSD Veterinary Manual. https://www.msdvetmanual.com/management-and-nutrition/management-of-the-neonate/care-of-orphaned-native-birds-and-mammals
- Grand View Research. (2026). Recyclable 3D Printing Filament Market—Industry Report 2033. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/recyclable-3d-printing-filament-market-report
- GreenDelta GmbH. (2006). openLCA Free, professional Life Cycle Assessment and footprint software [Dataset]. https://www.openlca.org/
- Haque, Md. S. S. (2020). Minimizing Stringing Issues In FDM Printing. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/346563712
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Chapter 7: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis (p. Table 7.15). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/
- Kuczko, W., Wichniarek, R., Górski, F., & Buń, P. (2017). Influence of Post-Processing on Accuracy of FDM Products. Advances in Science and Technology Research Journal. https://doi.org/10.12913/22998624/70996
- Les Stocker MBE HonAssocRCVS. (2005). Practical Wildlife Care.
- Miller, A. (2012). Minimum Standards for Wildlife Rehabilitation [Document]. https://theiwrc.org/wp-content/uploads/2011/05/Standards-4th-Ed-2012-final.pdf
- Muhammad Basha Ahmed Khoshaim, E. B. M. A. E. (2021). Experimental investigation on laser cutting of PMMA sheets: Effects of process factors on kerf characteristics.
- Norme per la protezione della fauna selvatica omeoterma e per il prelievo venatorio, Legislazione No. 157/1992, GU Serie Generale n. 46 del 25-02-1992, Suppl. Ordinario n. 41 (1992). https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:1992;157
- Olabisi, O., & Adewale, K. P. (A c. Di). (2016). Handbook of thermoplastics (Second edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Plamadiala, I., Croitoru, C., Pop, M. A., & Roata, I. C. (2025). Enhancing Polylactic Acid (PLA) Performance: A Review of Additives in Fused Deposition Modelling (FDM) Filaments. Polymers, 17(2), 191. https://doi.org/10.3390/polym17020191
- PLEXIGLAS®. (2025, aprile). PLEXIGLAS® Solid sheet, block, multi-skin sheet, corrugated sheet, tube and rod [TECHNICAL INFORMATION]. https://www.plexiglas.de/files/plexiglas-content/pdf/technische-informationen/211-1-EN-PLEXIGLAS-GS-XT.pdf
- Protolabs. (2024, febbraio 8). L'orientamento delle parti per la stampa 3D: come influisce sulla resistenza, la precisione e sulle finiture superficiali [Website Article]. Protolabs. https://www.protolabs.com/it-it/risorse/blog/considerazioni-sull-orientamento-dei-pezzi-stampati-in-3d/
- Protolabs. (2026, maggio 29). 3D Printing Materials Guide. https://www.protolabs.com/resources/guides-and-trend-reports/selecting-the-right-material-for-3d-printing/
- Provincia di Cuneo. (2026, gennaio 26). Provincia di Cuneo e CRAS di Bernezzo: Presentata la relazione annuale delle attività. Quotidiano Online Della Provincia Di Cuneo. https://notizie.provincia.cuneo.it/?p=66380
- Prusa Polymers a.s. (2022a). Prusament PETG — Technical Data Sheet. V1.1. https://prusament.com/wp-content/uploads/2022/10/PETG_Prusament_TDS_2021_10_EN.pdf
- Prusa Polymers a.s. (2022b). Prusament PETG Recycled—Technical Data Sheet. V1.0. https://prusament.com/wp-content/uploads/2022/03/8_PETG_RECYCLED_Prusament_TDS_2022.pdf
- Raise3D. (2026, maggio 29). PETG 3D Printing Guide: Steps, Settings, Temperature & Tips. Raise3D. https://www.raise3d.com/blog/petg-3d-printing/
- Redazione Ideawebtv.it. (2024, febbraio 7). Presentato in Provincia il rapporto annuale del Centro Recupero Animali Selvatici di Bernezzo. www.ideawebtv.it - Quotidiano on line della provincia di Cuneo. https://www.ideawebtv.it/2024/02/07/presentato-in-provincia-il-rapporto-annuale-del-centro-recupero-animali-selvatici-di-bernezzo/
- Shuaib, M., Haleem, A., Kumar, S., & Javaid, M. (2021). Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study. Sustainable Operations and Computers, 2, 57–63. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.04.001
- Tutela della fauna e gestione faunistico-venatoria, L.R. 19 giugno 2018, n. 5 Bollettino Ufficiale Regione Piemonte n. 25 (2018). https://arianna.cr.piemonte.it/iterlegcoordweb/dettaglioLegge.do?urnLegge=urn:nir:regione.piemonte:legge:2018;5@2024-05-14 Testo coordinato al 14 maggio 2024
- United States Department of Agriculture. (2023). USDA / LCA Commons LCI Database [Dataset]. https://nexus.openlca.org/database/LCA%20Commons
- Vidakis, N., Petousis, M., Tzounis, L., Grammatikos, S. A., Porfyrakis, E., Maniadi, A., & Mountakis, N. (2021). Sustainable Additive Manufacturing: Mechanical Response of Polyethylene Terephthalate Glycol over Multiple Recycling Processes. Materials, 14(5), 1162. https://doi.org/10.3390/ma14051162
- Vitsœ. (s.d.). Good design. Recuperato 26 agosto 2026, da https://www.vitsoe.com/gb/about/good-design
- WASP. (2026, maggio 29). Come Riciclare scarti di stampa 3D | RIGENERA. Stampanti 3D | WASP. https://www.3dwasp.com/rigenera-riciclare-scarti-stampa-3d/
- Wickramasinghe, S., Do, T., & Tran, P. (2020). FDM-Based 3D Printing of Polymer and Associated Composite: A Review on Mechanical Properties, Defects and Treatments. Polymers, 12(7), 1529. https://doi.org/10.3390/polym12071529
- William D. jr. Callister, David G. Rethwisch. (s.d.). Scienza e ingegneria dei materiali.
- Zisopol, D. G., Minescu, M., & Iacob, D. V. (2024). A Study on the Tensile Behavior of Specimens Manufactured by FDM from Recycled PETG in the Context of the Circular Economy Transition. Engineering, Technology & Applied Science Research, 14(6), 18681–18687. https://doi.org/10.48084/etasr.8927

