

**SPECIFICHE TECNICHE PER LA REALIZZAZIONE DI UN PROTOTIPO  
CHE SFRUTTA UN PROCESSO BASATO SUL BREVETTO “METODO A  
BASSO CONSUMO ENERGETICO E A BASSO IMPATTO AMBIENTALE PER  
IL RECUPERO DEI COMPONENTI PRINCIPALI DEI PANNELLI  
FOTOVOLTAICI IN SILICIO CRISTALLINO A FINE VITA” con n.  
102017000033488 e concesso il 10-07-2019**



<b>ENEA</b>
Ing. Marco Tammaro
Ing. Letizia Tuccinardi
Dott. Riccardo Tuffi
Ing. Lorenzo Cafiero
P.I. Carlo Tebano

## INDICE

1. Introduzione.....
2. Descrizione processo.....
3. Descrizione del prototipo.....
4. Descrizione sezioni principali e funzioni.....
5. Schema impiantistico

## 1. Introduzione

La Direttiva 2012/19/UE, recepita in Italia dal Dlgs 49/2014, ha per la prima volta inserito i pannelli fotovoltaici a fine vita nell'elenco dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), e ne ha imposto il recupero dei materiali che li compongono fino all'85 % in peso. Tale percentuale, per i pannelli in silicio cristallino, si raggiunge anche con il solo recupero del vetro e della cornice in alluminio. Infatti un modulo fotovoltaico in silicio cristallino è costituito tipicamente da vetro per circa il 70% del suo peso, da alluminio per il 15%, da silicio per il 4 %, da EVA (Etilene vinil acetato) per circa il 7 % e da altri materiali (4 %), tra cui argento, stagno, rame, impiegati per la realizzazione dei contatti elettrici e nelle paste saldanti.

Lo scopo principale dei processi di riciclaggio dei pannelli in silicio cristallino è quello di eliminare lo strato di EVA, così da poter slegare i materiali che compongono gli altri strati, tra cui il vetro. La cornice di alluminio può essere rimossa solo meccanicamente, sia manualmente che in maniera automatizzata.

I metodi attualmente adottati si possono suddividere schematicamente in due categorie: termico e meccanico. In entrambi i casi possono essere seguiti da trattamenti chimici e/o fisici (setacciatura, separazione gravimetrica, ect) di finitura per l'eventuale recupero di altri materiali (silicio, rame, argento, etc.).

Nei trattamenti termici convenzionali si procede con un riscaldamento tra i 500 e i 600 °C, solitamente all'interno di fornaci con o senza atmosfera controllata, per la rimozione completa dello strato di EVA. La durata del processo dipende dalla velocità di riscaldamento, ma è generalmente nell'ordine di 30-60 min. Alla fine si possono recuperare lo strato di vetro e le celle, oltre ai contatti elettrici. Le celle recuperate possono essere sottoposte a trattamenti chimici e/o meccanici per il recupero di silicio e/o altri metalli preziosi (argento, rame ed alluminio).

I processi meccanici consistono in una frantumazione, in genere suddivisa in due step, grossolana e fine, che ha lo scopo di ridurre la superficie di contatto vetro-EVA-cellula, e quindi facilitarne il distacco con i successivi trattamenti, chimici e/o

fisici. I processi di frantumazione, alla fine dei due step, generalmente consentono di recuperare circa l'80% del vetro. Alla fine del processo di finitura, quindi con ulteriori trattamenti termici e/o chimici, si raggiunge circa il 95%.

Di seguito viene proposto un metodo brevettato<sup>1</sup> che si propone come alternativo ai processi suddetti. Il metodo proposto trova nella sua semplicità, il suo punto di forza. Rispetto agli altri metodi attualmente utilizzati, ha il vantaggio di essere più economico, in quanto meno energivoro, meno impattante dal punto di vista ambientale, dal momento che non presenta elevate emissioni gassose, ed infine consente di recuperare più materiali, compreso il backsheet e EVA, in quanto non è un metodo distruttivo. Il backsheet può essere composto da diversi polimeri, quali PVF (polivinilfluoruro) e PET (polietilentereftalato). Quello maggiormente diffuso fino a qualche anno fa era il Tedlar<sup>2</sup>. Raramente può essere in vetro.

## 2. Descrizione processo

Il processo consiste in un metodo per recuperare i componenti principali del pannello fotovoltaico (PFV) in silicio cristallino (c-Si) mediante un trattamento termico a basso consumo energetico e a basso impatto ambientale.

Il modulo fotovoltaico (FV) c-Si ha una struttura a strati costituiti da:

- uno strato di vetro che funge da protezione meccanica anteriore;
- un sottile strato di materiale polimerico, l'Etilene Vinil Acetato (EVA);
- celle di silicio e contatti elettrici in metallo;
- un secondo strato di EVA;
- una superficie posteriore di supporto, il backsheet;

Il tutto è chiuso da una cornice in alluminio.

I suddetti materiali hanno un ciclo di vita superiore a quello dei dispositivi fotovoltaici, che durano al massimo 25-30 anni, e pertanto possono essere recuperati

---

<sup>1</sup> Brevetto italiano n. 102017000033488 e concesso il 10-07-2019

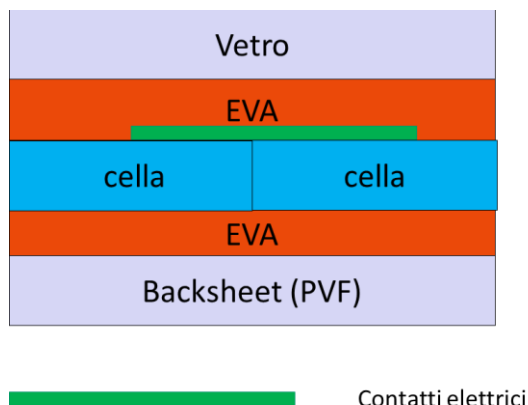
<sup>2</sup> Tedlar : marchio commerciale della società chimica americana DuPont e si riferisce al polivinil fluoruro (PVF), un materiale fluoropolimerico termoplastico

in vista di un loro ulteriore utilizzo, nella produzione di nuovi moduli o di altri prodotti.

Il processo oggetto del brevetto propone un metodo che si basa su una alterazione parziale e temporanea della capacità adesiva dello strato di EVA attraverso un trattamento termico “light”, e quindi la conseguente separazione dei diversi componenti. Il calore viene prodotto da una fonte di radiazione infrarossa (IR) posta a pochi centimetri di distanza dalla superficie del pannello. Ottimizzando i tempi di esposizione e la distanza tra la fonte IR e la superficie del pannello, si ottiene una degradazione termica minima e solo laddove serve, cioè lungo gli strati superficiali dell'EVA, ovvero quelli di contatto con gli altri componenti, che quindi possono essere separati. In questo modo si possono recuperare il backsheet, l'EVA, i contatti elettrici in metallo, le celle in silicio ed il vetro. Inoltre, non procedendo alla degradazione di tutto lo strato di EVA, a differenza dei metodi tradizionali basati su trattamenti termici, le emissioni gassose in atmosfera sono molto più contenute.

Scopo della sperimentazione proposta sarà quindi di ottenere informazioni esaustive sul ruolo rivestito dai suddetti parametri (frequenza IR, tempi di esposizione, la distanza tra la fonte IR e la superficie del pannello), al fine della loro ottimizzazione sotto il profilo tecnologico, economico ed ambientale.

Riassumendo, il processo proposto consiste in un metodo per separare e recuperare i componenti principali (vetro, EVA, backsheet, celle, contatti elettrici) del pannello fotovoltaico a fine vita mediante un trattamento termico a basso consumo energetico e a basso impatto ambientale. I suddetti componenti sono legati attraverso lo strato di EVA, che funge da collante, in una tipica struttura a strati (vedi Fig. 1).



**Figura 1**– Tipica struttura a strati di un pannello a silicio cristallino

Nel processo proposto, il calore necessario per degradare lo strato di EVA, viene prodotto da una fonte IR, quindi nel range di lunghezze d'onda  $[0.7 - 1000] \mu\text{m}$ , posta a pochi centimetri di distanza dalla superficie del vetro anteriore del pannello e/o dalla parte posteriore, posizionato in piano. In questo modo, ottimizzando il parametro tempo e la distanza tra la fonte di calore e la superficie, si può ottenere una degradazione termica solo dove è necessaria. Alla fine del trattamento, la separazione degli strati di backsheet e di EVA deve poter avvenire in maniera automatizzabile, mediante un sistema a strappo dei diversi strati. Dopodiché, continuando con il trattamento termico, si possono recuperare i contatti elettrici e le celle, quindi il 100 % del vetro.

### Oggetto fornitura

Oggetto della presente fornitura è la realizzazione di un impianto prototipale come di seguito descritto.

I tempi totali per la fornitura di cui sopra sono tassativi: la consegna e la fatturazione dovrà avvenire entro il **15/12/2022**.

### **3. Descrizione del prototipo in unità funzionali**

#### **3.1. Il prototipo si può suddividere schematicamente nelle seguenti unità funzionali:**

Il prototipo si può suddividere schematicamente nelle seguenti unità funzionali

##### **Struttura portante**

- Telaio meccanico rettangolare, sorretto da quattro sostegni posti ai vertici, per collocazione orizzontale di un pannello fotovoltaico intero, dotato di sistema di fissaggio del pannello. In questo modo il pannello resta bloccato con il lato vetro (rivolto verso il basso) ed il lato backsheet rivolto verso l'alto.
- Telaio meccanico per sostegno del sistema riscaldante e del sistema di strappo, entrambi scorrevoli lungo l'asse parallelo al lato lungo del telaio. Il sistema di strappo deve consentire lo strappo lungo l'asse perpendicolare al piano del pannello.
- Piano di raccolta residui solidi, rimovibile, posto sotto il piano di appoggio del pannello, e dotato di bordo.
- Teca in plexiglass, con i quattro lati apribili, per ricoprire la struttura ed collocata sul piano di appoggio. Un ulteriore prolungamento sotto il piano di appoggio con quattro pannelli in plexiglass, fissi ma facilmente rimovibili, posti sui quattro lati.

##### **Unità riscaldamento del pannello**

Il sistema di riscaldamento mobile, con radiatori ad infrarossi, composto da due componenti fra loro solidali: 1) una fila di radiatori superiori poste sopra il piano di appoggio del pannello e rivolti verso il basso, e 2) una fila di radiatori inferiori poste sotto il piano di appoggio del pannello e rivolti verso l'alto. Di seguito un elenco sintetico dei principali elementi.

- Sistema per la misura della temperatura della superficie pannello puntuale (pirometro), solidale al sistema di riscaldamento
- Radiatori ad infrarossi, ad onde corte e medie, dotati di deflettore parabolicoide, posizionabili nella fila, parallela al lato più corto del telaio e collocati su un supporto mobile lungo un asse parallelo al lato più lungo, sopra e sotto il pannello (una fila sopra e una fila sotto). I radiatori dovranno essere facilmente sostituibili, ai fini della sperimentazione, per eseguire test separati con onde corte o medie. Inoltre la loro inclinazione dovrà essere regolabile manualmente nei limiti dei 45 gradi
- Le due file di radiatori devono essere dotate di un sistema di accensione e regolazione della potenza, indipendentemente l'una dall'altra. Inoltre, ciascuna fila deve essere composta da un numero di radiatori tali che la lunghezza totale sia pari al lato più corto del telaio. Oppure, come seconda scelta, da un radiatore unico che ricopre tutta la lunghezza richiesta. Ciascun radiatore, di ciascuna fila (in caso di più radiatori posti sulla stessa fila), deve avere un sistema di accensione indipendentemente dagli altri. La regolazione della potenza invece deve essere per singola fila; cioè i radiatori di ciascuna fila devono potersi regolare tutti insieme.
- La fila di radiatori posta sotto il piano di appoggio del pannello, con radiatori fissi rivolti verso l'alto, devono essere solidali (si muovono insieme) alla fila di radiatori superiore. Il sistema di accensione dei radiatori sotto il piano di appoggio dovrà essere indipendente da quelli superiori.
- La distanza tra i radiatori e la superficie del pannello, sia superiore che inferiore, deve essere tale che il fuoco del deflettore coincida con la superficie del pannello. Siccome i pannelli hanno spessore diversi, è richiesto un minimo di regolazione e misurazione della distanza radiatore-pannello, indipendente per i radiatori superiori ed inferiori.

- Dovrà quindi essere fornito anche un sistema per la misura e regolazione (es. tramite inverter) della potenza di radiatori ad infrarossi, ad onde corte e medie

### **Unità strappo degli strati polimerici**

- Pinze per afferraggio strati. Il sollevamento del lembo di backsheet, azione che precede l'afferraggio e segue il riscaldamento, oltre che manuale, ne sarà implementata l'automazione, con il supporto di eventuali sensori di superficie ottici o meccanici. Quindi l'azione della lama deve essere legata alla posizione della superficie del backsheet. Per consentire il sollevamento, si procederà prima con il taglio di una striscia di pannello, lungo il lato più corto, larga 2 cm, con troncatrice circolare che farà parte della fornitura. Il sollevamento avverrà grazie ad una lama, che dovrà inserirsi tra il backsheet e lo strato di EVA. Prima si dovrà procedere al riscaldamento della parte interessata. Il movimento della lama mobile che solleverà il lembo, deve potersi regolare anche in modalità manuale. La sua inclinazione, rispetto alla superficie del pannello, deve potersi regolare e misurare manualmente. Successivamente al sollevamento del lembo, per una larghezza sufficiente all'afferraggio, deve entrare in azione, in maniera consequenziale ed in modalità automatica, la pinza. Sia la lama di sollevamento che la pinza devono avere un'estensione che si sviluppa lungo tutto il lato corto del telaio. La pinza e la lama fissa che solleva il lembo (che possono essere anche indipendenti fra loro o costituire lo stesso sistema), si devono poter spostare nella direzione dell'asse parallelo al lato lungo del pannello e contemporaneamente consentire lo strappo del backsheet nella direzione perpendicolare al piano di appoggio. Lo strappo lungo l'asse perpendicolare deve essere automatico e legato alla resistenza opposta allo strappo e/o alla temperatura puntuale

della superficie del pannello. Però, per esigenze operative, deve poter essere consentito lo switch in modalità manuale.

- Movimentazione del sistema pinza/riscaldamento lungo la direzione del lato lungo del telaio e, per la sola pinza, perpendicolarmente ad esso, con controllo della forza di strappo basato sulla coppia di forza opposta all'azione dello strappo. Maggiore è la resistenza allo strappo, minore è la velocità di avanzamento del sistema mobile, con il sistema di riscaldamento con gli IR (che mantiene sempre la stessa distanza dalla superficie del pannello) e avanzamento/sollevamento di quello di strappo con la pinza (che man mano che avanza solleva il backsheet nella direzione perpendicolare al pannello)
- Il sistema riscaldante e il sistema afferraggio sono solidali, per cui si muovono alla stessa velocità.
- Il sistema di afferraggio deve potersi muovere lungo il lato più lungo del pannello, ma anche consentire lo strappo lungo l'asse perpendicolare al piano del pannello.
- Sistema di taglio con troncatrice circolare (utensile separato dal telaio) di una striscia di pannello lungo il lato più corto. E' richiesta anche la fornitura di una smerigliatrice, che servirà a ripulire la superficie del pannello, prima (da eventuali residui di silicone) e dopo il trattamento (pulizia vetro).
- Il sistema di strappo sarà dotato anche di un meccanismo per tenere fermo il pannello sul piano di appoggio. Tale meccanismo consentirà di tenere fermo nella sua posizione il pannello durante l'azione di strappo, impedendo eventuali flessioni della superficie del pannello. Esso potrà essere costituito da un rullo, solidale al sistema riscaldamento/afferraggio ma posto posteriormente rispetto alla direzione di avanzamento, che sarà quindi appoggiato sulla superficie del pannello libero dallo strato rimosso.

- Potrebbe essere necessario rimuovere solo due lati della cornice in alluminio, ovvero quelli lungo il lato corto del pannello, o solo uno di essi, lasciando gli altri nella loro collocazione. Questo consentirebbe al pannello di conservare la rigidità necessaria e di utilizzare le cornici rimanenti per fissare/bloccare il pannello al telaio. Quindi occorre progettare il sistema mobile di riscaldamento e di strappo tenendo conto dell'eventuale presenza, lungo i lati lunghi del pannello, di un bordo in alluminio altro 2-4 cm. In ogni caso, è richiesto la presenza di un sistema di ancoraggio del pannello lungo i bordi.

### **Unità di controllo**

- Sistema di gestione dell'unità riscaldante e di quella di strappo. Il sistema riscaldante precede, lungo la direzione di avanzamento, quella di strappo. La parte riscaldante avrà una distanza prefissata (che potrà essere regolata in maniera indipendente per i radiatori superiori ed inferiori), ottenuta mediante regolazione manuale e misurabile, tra radiatore e superficie del pannello, oltre alla predeterminata potenza del radiatore, ottenuta con regolazione mediante inverter. La distanza ottimale tra radiatori e superficie del pannello è quella focale dei radiatori (dotati di deflettore paraboloidale), ma in ogni caso una regolazione minima deve essere consentita. Il sistema di strappo quindi segue quella riscaldante. Se il backsheet oppone resistenza (saranno stabiliti a priori i parametri operativi, che a sua volta saranno funzione delle caratteristiche chimico-fisiche del backsheet) allo strappo, vuol dire che il sistema riscaldante deve riscaldare per più tempo, ovvero deve rallentare. Quindi il sistema di controllo deve agire sulla velocità di avanzamento del sistema riscaldante/pinza, che quindi agirà anche sulla velocità di strappo (che avviene nella direzione perpendicolare al piano del pannello), utilizzando come indicatore (nel senso di parametro di controllo) la “resistenza” allo strappo (i.e. maggiore è la resistenza allo strappo, più lento è

l'avanzamento del sistema riscaldante/strappo. Da prevedere, in caso di resistenza eccessiva, anche lo stop). La potenza dei radiatori e la loro distanza dalla superficie del pannello, sono parametri definiti a priori, manualmente, per ogni test sperimentale. Per cui i suddetti parametri devono potersi sia variare che misurare con continuità.

- Inoltre, attraverso il sistema di misurazione della temperatura superficiale dettata dal pirometro, si potrà avere un sistema integrativo/alternativo per regolare la velocità di avanzamento e quindi la forza di strappo. Per fare ciò, il pirometro sarà solidale al sistema di riscaldamento/afferraggio. Quindi la temperatura della superficie del pannello nel punto di riscaldamento, può diventare parametro di regolazione della velocità di avanzamento, in alternativa o in sinergia con la resistenza allo strappo

#### **Unità di monitoraggio**

- Sistema di monitoraggio emissioni diffuse. A tale scopo sarà necessario predisporre un punto di aspirazione fumi nella teca di plexiglass. Ovvero un foro con un invito a collegamento a tubo da 150 mm per l'aspirazione ed il campionamento
- Sistema di misura della temperatura dei pannelli. Si chiede che l'impianto sia dotato di un sistema di misurazione puntuale della temperatura tramite pirometro, solidale al sistema di riscaldamento. Ovvero, in modo da misurare la temperatura nel punto preciso in cui agiscono i radiatori ad infrarossi.

#### **4. Descrizione sezioni principali e funzioni**

L'impianto prototipale sarà costituito da un telaio sul quale sarà montato 1) il sistema di bloccaggio del pannello 2) il sistema di riscaldamento, superiore ed inferiore, del pannello mediante radiatori ad infrarossi, con regolazione della distanza tra essi e la superficie, e della potenza, 3) il sistema di afferraggio del backsheet e dell'EVA e 4) il

sistema di misurazione della temperatura (pirometro) nel punto superficiale riscaldato. Il telaio sarà a sua volta ricoperto da una teca di plexiglass, appoggiata al piano di lavoro, collegata ad un sistema di aspirazione e controllo delle emissioni diffuse. Nel dettaglio si descrivono le diverse sezioni:

#### **4.1. Struttura portante**

La struttura portante, dotata di ruote e di sistema frenante manuale, sarà realizzata su misura utilizzando materiale resistente ma leggero (ad ex profili di alluminio tipo Bosch) e sarà completa di copertura in plexiglass, collocata sul piano di appoggio, con predisposizione di foro per aspirazione, dotato di invito per collegamento tubo da 150 mm. L'altezza della teca sarà adatta a contenere tutto l'impianto in funzione. Sotto il piano di appoggio, non composto da struttura piena per consentire l'azione dei radiatori IR inferiori, sarà posizionato un piano di raccolta residui solidi, dotato di bordo, e rimovibile. Il piano di appoggio deve potersi adattare alle diverse superfici dei pannelli, mediante dei lati aggiuntivi mobili, che possano quindi adattarsi al pannello e sorreggerlo lungo i lati, lasciando sempre la superficie inferiore del pannello liberamente esposta all'azione dei radiatori inferiori. Lungo i lati, sotto il piano di appoggio, saranno posizionati degli ulteriori pannelli in plexiglass, fissi ma facilmente rimovibili, fino ad un'altezza di 30 cm.

#### **4.2. Sistema di bloccaggio del pannello**

Il sistema di bloccaggio del pannello dovrà consentire al pannello di restare fermo nella sua posizione orizzontale durante il riscaldamento e lo strappo. Il sistema mobile di riscaldamento e strappo dovrà essere dotato di un meccanismo che impedisca al pannello di sollevarsi durante lo strappo. Esso potrà essere costituito da un rullo che si appoggerà sulla superficie del pannello appena liberato dallo

stato rimosso. Tale sistema potrà essere solidale al sistema riscaldante/strappo. Ulteriori punti di ancoraggio, che non interferiscano con l'esposizione ai radiatori ad infrarossi, possono essere previsti lungo i bordi del pannello. Per conservarne la rigidità, utile all'azione di strappo, potrebbe essere necessario lasciare nella loro posizione i lati della cornice lungo i lati lunghi del pannello e uno lungo il lato corto (bordo alto 2-4 cm). I lati della cornice lasciata in sede, potranno essere utilizzati per l'ancoraggio del pannello.

#### **4.3. Riscaldamento del pannello**

Questa sezione comporterà la realizzazione:

- di un supporto meccanico, mobile lungo l'asse parallelo al lato lungo del telaio e che consenta lo strappo del backsheet lungo l'asse perpendicolare alla superficie del pannello, per sostegno e regolazione delle file di radiatori ad infrarossi, superiori ed inferiori
- di un sistema per la regolazione e misurazione della potenza dei radiatori
- di un sistema per la misura della temperatura del pannello generale (temocamera) e puntuale (pirometro)
- di un sistema di sollevamento lembo, afferraggio e strappo del backsheet, collegato al sistema di avanzamento delle file di radiatori ad infrarossi, superiori ed inferiori
- di un sistema di radiatori ad infrarossi (a onde corte e medie), posizionate sopra e sotto il piano di appoggio del pannello. I radiatori inferiori sono rivolti verso l'alto, e saranno solidali al sistema di riscaldamento superiore (si muovono insieme). L'accensione sarà per singolo radiatore (inferiore e/o superiore), la regolazione della potenza sarà per fila di radiatori (superiori e/o inferiori). La distanza tra i radiatori e la superficie del pannello coinciderà con la distanza focale, ma in ogni caso un minimo di regolazione manualmente deve essere consentita

#### **4.4. Sistema per sollevamento lembo di backsheet, per afferraggio EVA e relativo sistema di movimentazione a controllo di coppia**

Questa sezione comporterà la realizzazione di:

- un sistema di sollevamento del lembo di backsheet che consenta poi l'afferraggio dello stesso da parte delle pinze
- pinze per afferraggio backsheet solidale al sistema di riscaldamento
- sistema di posizionamento manuale/automatico del sistema di sollevamento lembo di backsheet, in funzione della superficie del pannello. Il dato informativo sarà lo spessore del backsheet
- movimentazione del sistema pinza/radiatori lungo asse parallelo al lato lungo del telaio e possibilità di strappo del backsheet lungo direzione perpendicolare alla superficie del pannello, con controllo della velocità di avanzamento dato dall'azione opposta dalla coppia generata dallo strappo e/o dalla temperatura nel punto riscaldato

#### **4.5. Controllo e gestione del prototipo**

Questa sezione, dotata di un PC che fungerà da gestore, comporterà la realizzazione:

- di un PLC (Programmable Logic Controller) per la gestione di tutti i sistemi automatizzati e il controllo dei parametri monitorati. Il software sarà provvisto di un'interfaccia grafica esplicativa con monitor *touch screen*
- sistema che consente di controllare e gestire la coppia generata dallo strappo, la velocità, l'accelerazione e la decelerazione del sistema riscaldante/afferraggio/strappo

#### **4.6. Monitoraggio**

Questa sezione comporterà:

- Impiego di un pirometro per la misura puntuale della temperatura del pannello
- Realizzazione di una “teca” trasparente in plexiglass, dotato di sportelli apribili sui quattro lati, ricoprente l'impianto con predisposizione di uscita gas tramite foro da 150 mm dotato di invito per tubo, per la captazione e misura di emissioni diffuse. L'ingresso dell'aria fresca, per l'opportuno ricambio, essendo il sistema in leggera depressione (determinata dal sistema di aspirazione gas), potrà avvenire attraverso il piano di appoggio, che non è “pieno”. Sotto il piano di appoggio, lungo i quattro lati, saranno posizionati altrettanti pannelli fissi, ma facilmente rimovibili, sempre in plexiglass, per un'altezza minima di 30 cm

#### **4.7. Misure di contenimento del rischio di esposizione a radiazioni ottiche per l'operatore**

Occorre prevedere misure di contenimento del rischio di esposizione a radiazioni ottiche originate dai radiatori ad infrarosso al fine di rispettare i limiti stabiliti nella tabella 2.2. dell'allegato XXXVII del Dlgs 81/2008 e riportati per comodità in tabella 1.

Tali limiti rappresentano il valore di esposizione al di sopra del quale il rischio è inaccettabile per un soggetto esposto, per possibile insorgenza rischio di catarattogenesi e bruciatura della retina nelle regioni IR-A (780-1400 nm) e IR-B (1400-3000 nm), e di catarattogenesi e bruciatura della cornea nella regione IR-C (3000 nm-1 – 1 mm). Il rischio è dato dalla valutazione del parametro di Irradianza Totale (EIR) che nel caso assuma valori compresi nell'intervallo compreso tra 780nm e 3000nm. Si richiede che la predisposizione di un'adeguata schermatura che rispetti il non superamento della distanza minima (D.lgvo 81/08) dell'operatore alla sorgente di radiazione come indicato nella tabella seguente in funzione dei valori di EIR come riportato nella tabella seguente. radiazioni ottiche di lunghezza d'onda compresa tra 780 nm e 1 mm. La regione degli infrarossi è suddivisa in IRA (780-1400 nm).

**Tabella 1.** Limiti di esposizione alle radiazioni nel vicino infrarosso secondo la tabella 2.2. dell'allegato XXXVII del Dlgs 81/2008

Visibile e IRA	400 - 700	7 mm	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^{-4} t^{0,25} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 18 t^{0,25} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$
	700 - 1050		$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^{-4} t^{0,25} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 18 t^{0,25} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$
	1050 - 1400		$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^{-4} t^{0,25} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$	$H = 90 t^{0,25} C_{\lambda} C_{\lambda} [\text{J m}^{-2}]$
IRB e IRC	1400 - 1500	Cfr. nota b	$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$ Cfr. nota c	$H = 10^3 [\text{J m}^{-2}]$		$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} [\text{J m}^{-2}]$
	1500 - 1800		$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$ Cfr. nota c	$H = 10^3 [\text{J m}^{-2}]$		
	1800 - 2600		$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$ Cfr. nota c	$H = 10^3 [\text{J m}^{-2}]$		$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} [\text{J m}^{-2}]$
	2600 - 10 <sup>6</sup>		$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$ Cfr. nota c	$H = 100 [\text{J m}^{-2}]$	$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} [\text{J m}^{-2}]$	

Note:

a Se la lunghezza d'onda del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.

b Se  $1400 \leq \lambda < 105 \text{ nm}$ : apertura diametro = 1 mm per  $t \leq 0,3 \text{ s}$  e  $1,5 t^{0,25} \text{ mm}$  per  $0,3 \text{ s} < t \leq 10 \text{ s}$ ; se  $10^5 \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$ : apertura diametro = 11 mm.

c Per mancanza di dati a queste lunghezze di impulso, l'ICNIRP raccomanda di usare i limiti di irradianza per 1 ns.

d La tabella riporta i valori di singoli impulsi laser. In caso di impulsi multipli, le durate degli impulsi che rientrano in un intervallo  $T_{\text{min}}$  (elencate nella tabella 2.6) devono essere sommate e il valore di tempo risultante deve essere usato per  $t$  nella formula:  $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$

Dove:

E indica l'irradianza, ovvero la potenza radiante incidente per unità di area su una superficie, espressa in watt su metro quadrato per nanometro [ $\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ]; si richiede che tali valori siano forniti dal fabbricante delle attrezzature;

H esposizione radiante: integrale nel tempo dell'irradianza, espressa in joule su metro quadrato [ $\text{J m}^{-2}$ ];

#### 4.8 Parti di ricambio

Farà parte della fornitura un set di ricambio di tutte le parti soggette ad usura ordinaria (ex radiatori, cuscinetti, eventuali cavi, etc).

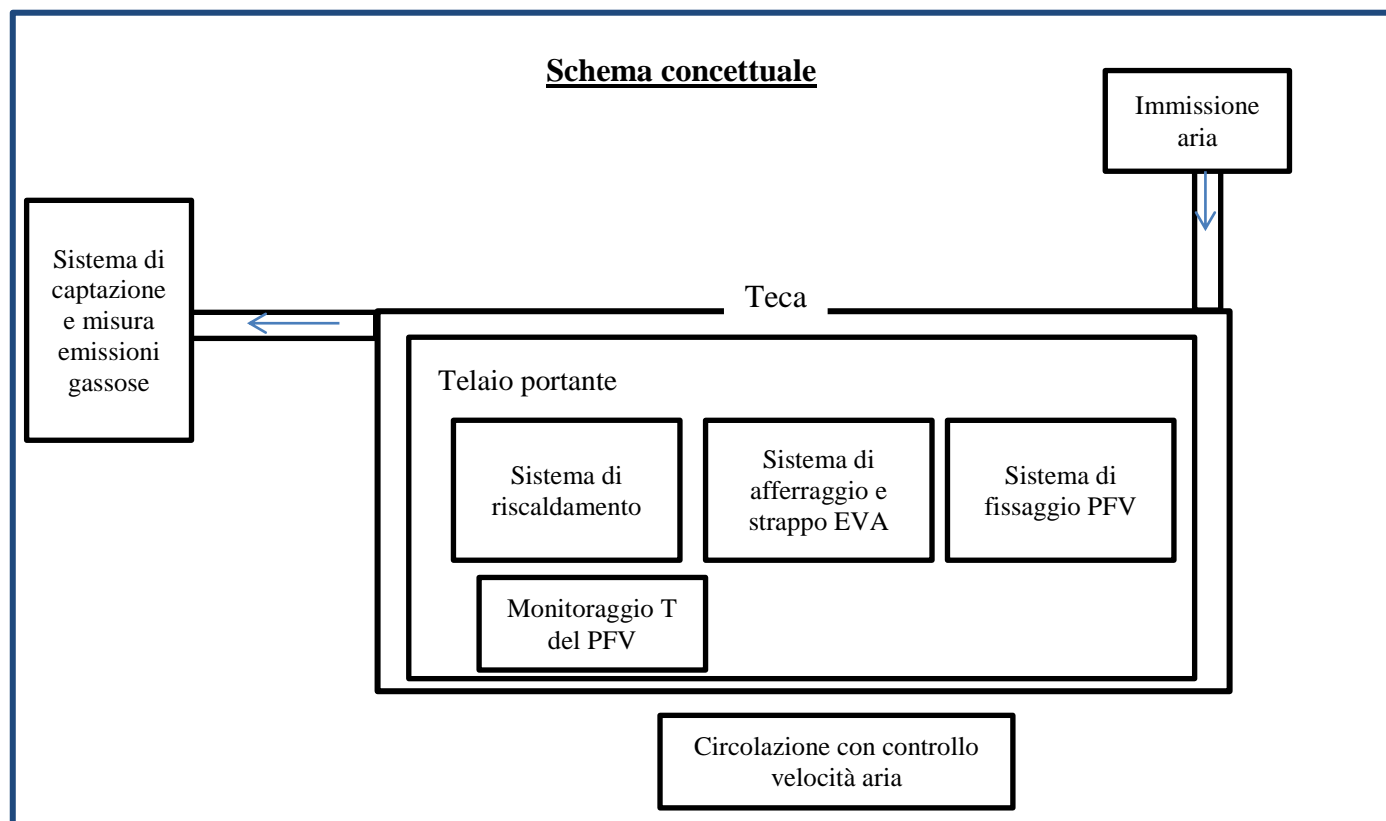
#### 4.9 Rispetto della normativa della sicurezza

Oltre alle misure di prevenzione riportate nel paragrafo 4.7, il prototipo dovrà rispettare tutta la normativa vigente ed inerente gli impianti elettrici e meccanici. Tutte le

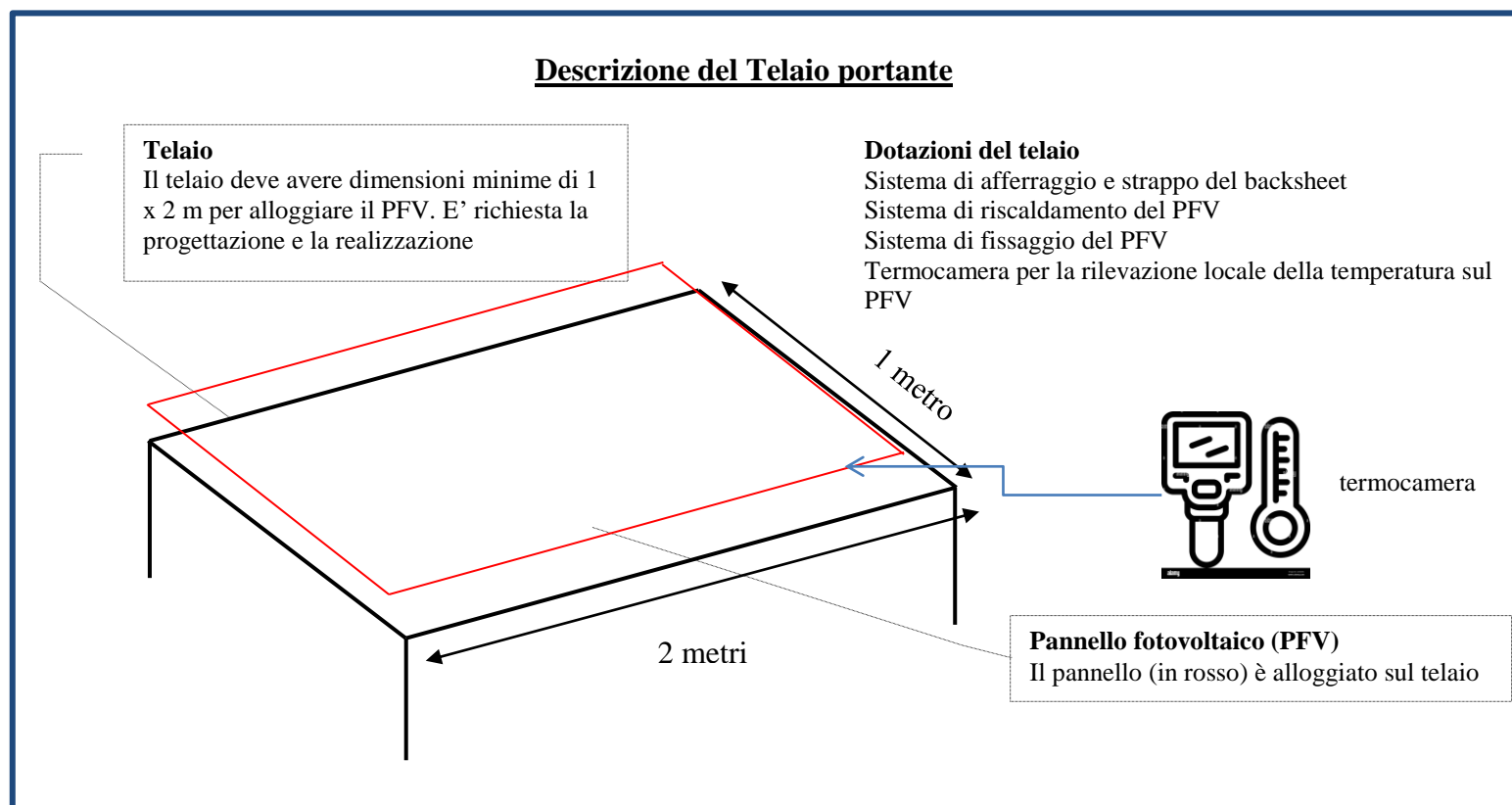
apparecchiature dovranno avere marchio CE e dovranno essere adottate tutte le misure atte a salvaguardare la salute e l'incolumità del lavoratore.

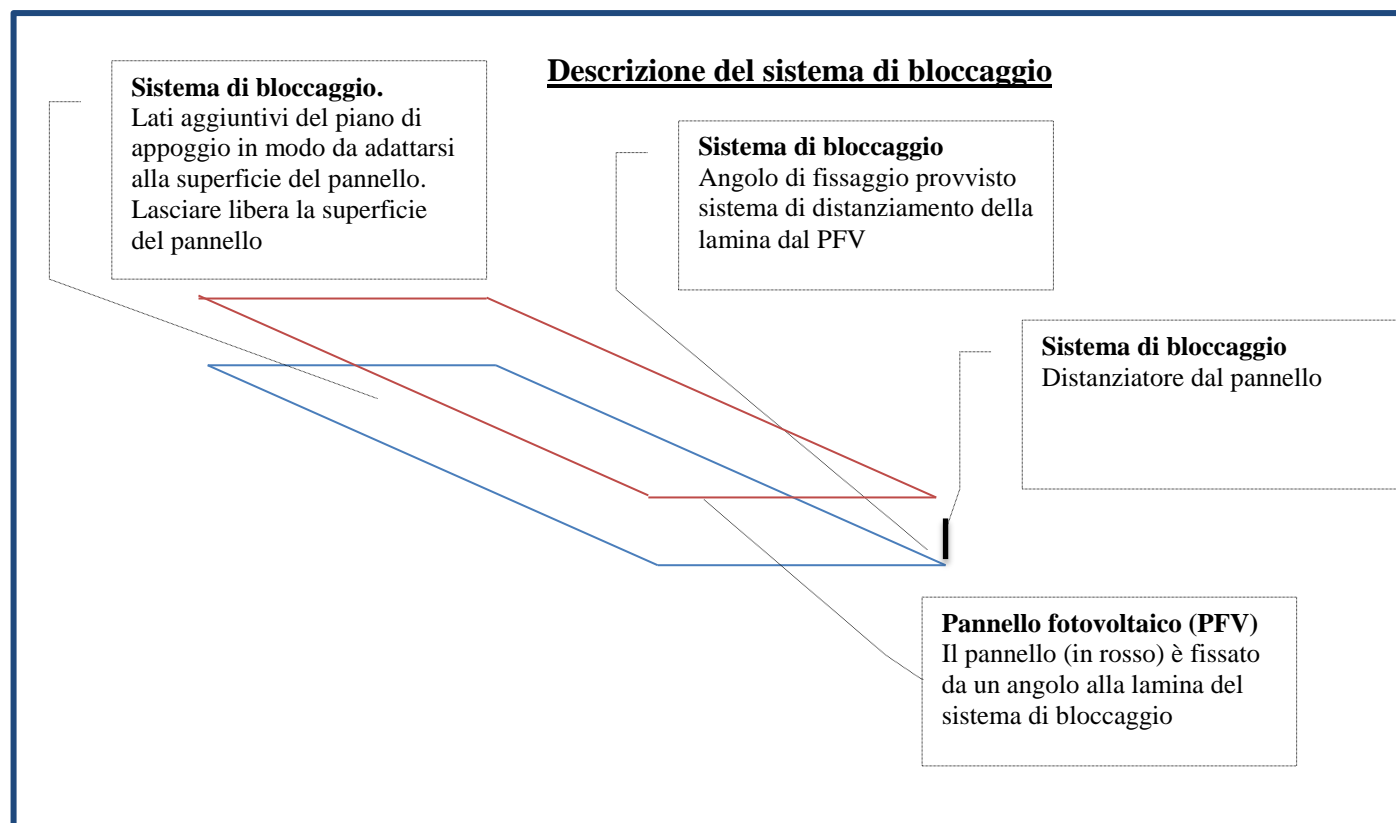
.

## 1. SCHEMA IMPIANTISTICO



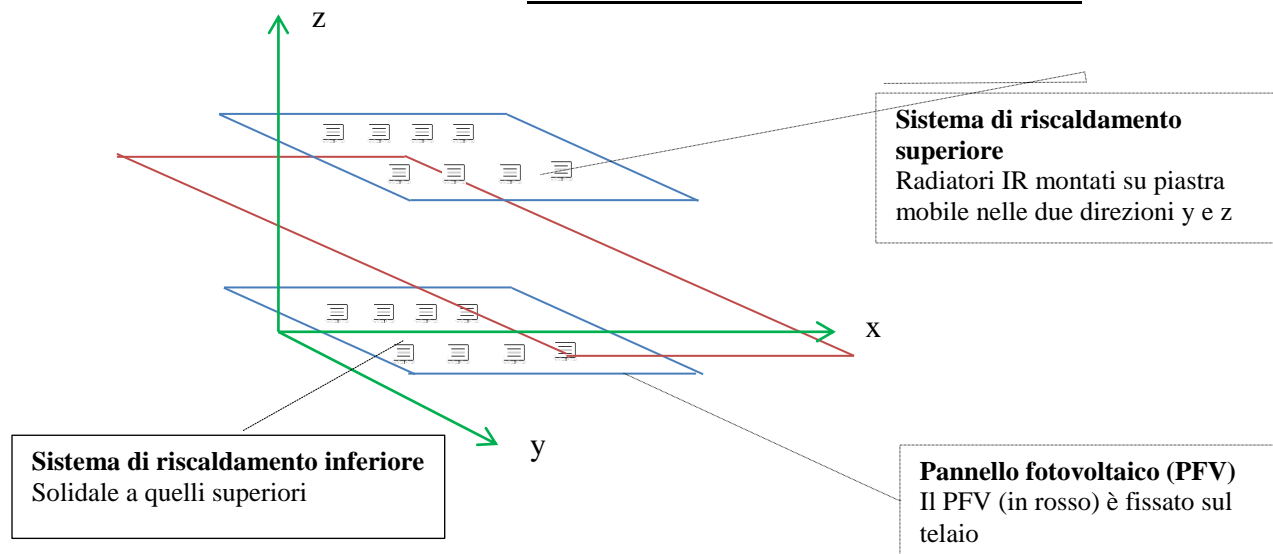
**Figura 2**


**Figura 3**



**Figura 4**

### Descrizione del sistema di riscaldamento



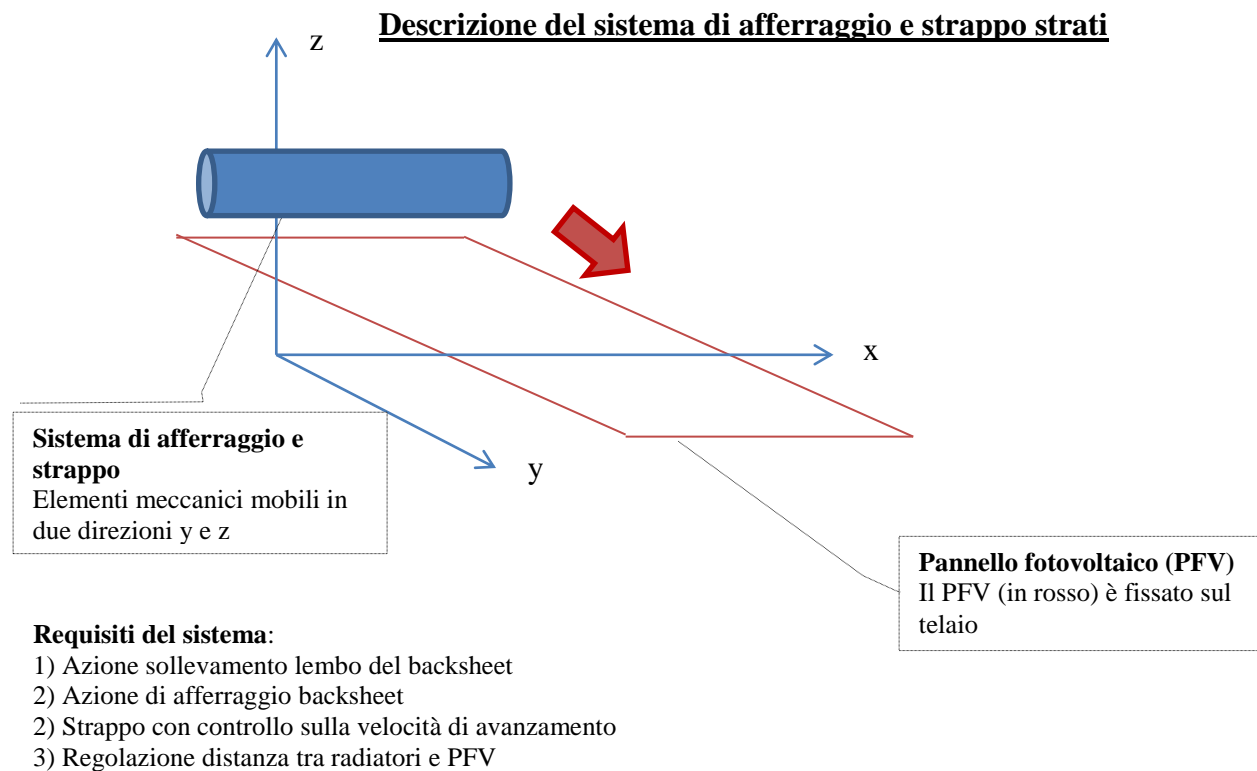
#### **Requisiti del sistema di riscaldamento del PFV:**

- 1) radiatori IR superiori ed inferiori disposti su file parallele al lato corto; si alterna una fila di radiatori ad onde
- 2) regolazione potenza radiatori
- 3) regolazione distanza radiatori-PFV
- 4) movimentazione radiatori rispetto a PFV su guide lineari lungo assi Y, Z

**Figura 5**



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



**Figura 6**

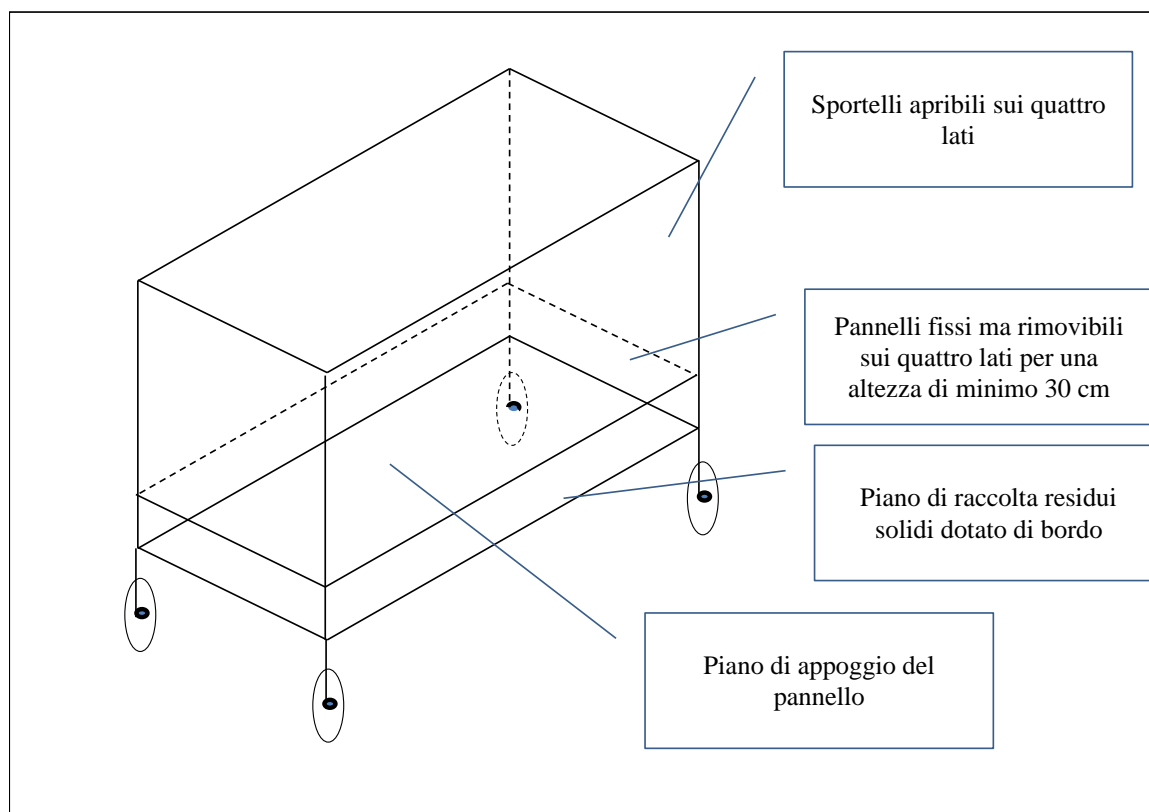


Figura 7. Schema Teca