

# **POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



Tesi di Laurea Magistrale

## **Progetto e sviluppo automatizzato di fixture di collaudo di schede elettroniche**

**Relatore:**

**Prof. Fabio Freschi**

**Candidato:**

**Andrea Ravetti**

**Azienda:**

**Roj srl**

Anno Accademico 2023-2024



# **Abstract**

## **Sviluppo dell'industria elettronica e necessità di test automatici**

L'industria elettronica si sta espandendo in ogni settore, portando alla riprogettazione in prospettiva elettronica di molti componenti, il cui elemento cardine è proprio la scheda elettronica. Poiché tali dispositivi trovano applicazione in ambiti altamente regolamentati, è fondamentale verificare il funzionamento di ogni scheda in tutte le sue parti. Esse vengono assemblate in serie su linee di produzione, quindi sarebbe impraticabile testarle manualmente; pertanto, sono state introdotte macchine automatizzate, poste in coda alle linee, che verificano le schede appena prodotte, per identificare il prima possibile eventuali difetti. Queste macchine, dette "a letto d'aghi", si interfacciano con le schede in test tramite apparecchiature che prendono il nome di "fixtures". Esse possiedono una serie di terminazioni che contattano la scheda nei suoi punti di test e trasmettono i segnali alla macchina, attraverso dei cablaggi. Tuttavia, tali cablaggi possono essere estremamente numerosi, comportando tempi di assemblaggio considerevoli.

## **Sviluppo circuito stampato di interfaccia e automatizzazione del processo**

La finalità di questa tesi è stata dunque sviluppare un circuito stampato capace di interfacciarsi contemporaneamente con la scheda in test e con la macchina di prova, sostituendo i cablaggi. Un obiettivo dell'attività era anche automatizzare la progettazione e la realizzazione dello stampato, partendo dai test point della scheda, estratti dai file Gerber e processati tramite scripting. Questa soluzione rappresenterebbe un'innovazione nell'automazione industriale, eliminando la manodopera per il cablaggio e riducendo il tempo di realizzazione delle fixture di diverse settimane, con vantaggi significativi sia per l'azienda produttrice sia per i clienti.

## **Tecnologia press-fit**

Dopo aver vagliato diverse alternative, si è osservato che il miglior risultato era ottenibile sfruttando la tecnologia press-fit, per collegare scheda in test e circuito stampato di interfaccia, attraverso gli aghi. Elaborata una soluzione meccanica per il nuovo interfacciamento tra le parti, si è deciso, in accordo con l'azienda, di provare a realizzare questa fixture basata su circuito stampato, con

tecnologia press-fit. I risultati ottenuti sono stati positivi: tale tecnologia si è dimostrata efficace nell'interconnessione tra scheda di interfaccia e aghi.

### **Valutazioni economiche**

Essendo la prima fixture realizzata con questa metodologia, si voleva collaudare principalmente la tecnologia e dunque si è deciso di applicarla a una scheda con un numero di punti di test contenuto. Di conseguenza, in questa fase, non sono stati osservati vantaggi economici significativi, poiché i costi legati alla produzione del circuito stampato e all'attività di cablaggio sostituita sono risultati comparabili. È però ovvio pensare che, applicando tale soluzione a schede con più test point, il beneficio economico risulterebbe considerevole.

### **Efficienza e tempi di realizzazione**

È stata invece evidente la rapidità dell'attività di generazione della scheda, che ha richiesto meno di un'ora per la sua completa realizzazione e, utilizzando servizi di prototipazione rapida, avrebbe potuto essere prodotta e consegnata in 24 ore. Questo approccio permette di sovrapporre i tempi di produzione e consegna della scheda con le fasi finali del progetto meccanico della fixture, riducendo il tempo totale che il prodotto trascorre in azienda.

### **Conclusioni e prospettive future**

In definitiva, questo elaborato non pretende di offrire la soluzione definitiva per l'eliminazione del cablaggio, ma propone una valida alternativa ad esso, applicabile in specifiche condizioni. Inoltre, pone le basi per sviluppi futuri che puntano a una crescente automazione del processo.

# Indice

1.	Introduzione: il test di schede elettroniche .....	7
1.1.	Le fixtures .....	9
1.2.	Le fasi di realizzazione di una fixture .....	13
1.2.1.	Progetto elettronico .....	14
1.2.2.	Progetto meccanico e taglio dei piani .....	15
1.2.3.	Analisi dettagliata dei piani realizzati .....	23
1.2.4.	Assemblaggio della fixture .....	33
1.2.5.	Cablaggio della fixture .....	43
1.2.6.	Debug della fixture .....	45
2.	Limiti delle fixtures .....	47
2.1.	Possibile soluzione .....	48
2.2.	Obiettivi della tesi .....	49
3.	Soluzione meccanica .....	51
3.1.	Posizionamento della scheda .....	51
3.1.1.	Soluzione 1: doppia contattazione .....	52
3.1.2.	Soluzione 2: doppio chiodo .....	54
3.1.3.	Soluzione scelta: press-fit .....	56
3.2.	Struttura meccanica della scheda .....	58
3.3.	Modifiche meccaniche alla fixture .....	61
4.	Generazione scheda elettronica .....	64
4.1.	Profilo scheda .....	65
4.2.	Posizione punti di test .....	66
4.3.	Net-list .....	67
4.4.	Processo di conversione .....	68
4.5.	Sbroglia della scheda .....	69
5.	Realizzazione della fixture cabless .....	71
6.	Conclusioni e sviluppi futuri .....	79
6.1.	Aspetto economico e logistico .....	79
6.2.	Aspetto tecnologico .....	80
6.3.	Sviluppi futuri .....	81
	Bibliografia .....	83



# 1. Introduzione: il test di schede elettroniche

L'industria elettronica ha registrato una crescita significativa negli ultimi anni e si sta espandendo in modo continuo, costituendo ormai un pilastro fondamentale dell'economia globale. Nel 2023, il mercato globale dei servizi di produzione elettronica (EMS) è stato valutato a 538.24 miliardi di dollari, con previsioni che indicano un'ulteriore crescita fino a 1017.85 miliardi di dollari entro il 2032, con un tasso di crescita annuo composto del 7.4% tra il 2024 e il 2032 [1]. Questo sviluppo riflette la continua riprogettazione di prodotti in chiave elettronica e il conseguente continuo aumento della domanda di questi, che spaziano dall'elettronica quotidiana, ai sistemi industriali e alle tecnologie avanzate.

Al centro di questa evoluzione ci sono le schede elettroniche, elementi fondamentali che rappresentano il cuore pulsante di ogni dispositivo elettronico. Tali schede integrano componenti complessi e interconnessi, i quali devono operare in armonia per assicurare il corretto funzionamento del prodotto finale.

Apparecchiature basate su scheda elettronica sono utilizzate in un'ampia gamma di applicazioni, dall'elettronica di consumo quotidiana, come smartphone e computer, fino a settori altamente critici come quello medico, militare e l'industria aerospaziale, dove l'affidabilità è di vitale importanza. In questo contesto, l'attività di test delle schede elettroniche risulta un'attività fondamentale per garantire la qualità, l'affidabilità e le prestazioni dei dispositivi elettronici moderni. Verificare che ogni componente operi in perfetta armonia è essenziale per assicurare le prestazioni e la durabilità del prodotto finale, soprattutto in settori dove un malfunzionamento potrebbe portare a conseguenze gravi [2].

Data la delicatezza e l'importanza dei settori di impiego, è indispensabile che ogni singola scheda venga sottoposta a un test completo e rigoroso. Non ci si può permettere di fare affidamento su controlli a campione quando una scheda difettosa potrebbe compromettere il funzionamento di dispositivi essenziali, come strumentazioni mediche o sistemi di sicurezza aeronautica. L'importanza di tali test è amplificata anche dal continuo aumento della complessità e della miniaturizzazione dei circuiti elettronici moderni, dove anche un piccolo difetto può portare a guasti significativi.

Per rispondere a queste elevate esigenze di qualità e, al contempo, ottimizzare i processi produttivi, i test vengono spesso eseguiti con apparecchiature automatizzate direttamente sulle linee di produzione, subito dopo l'assemblaggio dei componenti sulle schede elettroniche, consentendo una

rapida identificazione di eventuali problemi [2]. Questo approccio permette di identificare i difetti e scartare la scheda (non sempre è possibile ripararla) nelle fasi preliminari, evitando che le problematiche emergano solo quando essa è già integrata nel dispositivo finale.

Le procedure di test applicate alle schede elettroniche possono variare notevolmente, adattandosi alla complessità e alla criticità del prodotto in questione. Si va da semplici controlli di continuità elettrica, che verificano la presenza di connessioni corrette tra i vari componenti, a procedure molto più sofisticate che analizzano le prestazioni della scheda sotto diverse condizioni operative. Le tipologie di test più utilizzate sono l'In-Circuit Test (ICT) e il Functional Test (FCT) e sono comunemente impiegate per assicurare che ogni componente e circuito presente sulla scheda operi secondo le specifiche progettuali. Il test ICT si focalizza sull'analisi delle connessioni e delle interazioni tra i componenti montati, garantendo che non vi siano cortocircuiti o malfunzionamenti, mentre il test funzionale verifica il comportamento della scheda rispetto alle sue specifiche operative, simulando condizioni reali di utilizzo [3].

I test sulle schede elettroniche possono essere effettuati con due differenti modalità e dunque con due differenti architetture. La prima tecnica è detta “flying probes” e consiste in una tipologia di test basata su un certo numero di sonde mobili (solitamente 4 o 8), che contattano sequenzialmente tutti i punti di test sulla scheda, sulla base di un programma realizzato attraverso un opportuno software. La seconda modalità è detta “a letto d’aghi” o “a letto di chiodi” e consiste nella realizzazione di una struttura meccanica su cui vengono fissati una moltitudine di chiodi precaricati a molla posizionati in corrispondenza di ogni test point sulla scheda e che contattano dunque tali punti non sequenzialmente, ma contemporaneamente [4].

Grazie a queste apparecchiature, è possibile eseguire test complessi in tempi ridotti, minimizzando i margini di errore umano e assicurando una coerenza nei risultati che sarebbe difficile da ottenere con metodi manuali.

Il vantaggio dell'utilizzo del letto d'aghi rispetto al flying probe è l'ulteriore rapidità dei tempi di test, essendo che i punti vengono testati simultaneamente e non uno in seguito all'altro; se si pensa che alcune schede possiedono migliaia di punti da testare il guadagno di tempo appare evidente. Al contempo però, la realizzazione delle strutture a letto d'aghi è un'attività particolarmente complessa e deve essere customizzata per ogni tipologia di scheda da testare, in modo che permetta il posizionamento preciso dei chiodi e il loro collegamento in modo adeguato alla macchina di test. Di conseguenza, quando il numero di punti da testare su una scheda è contenuto, risulta più rapido e



meno oneroso programmare le sonde mobili e fare eseguire i test da queste ultime; negli altri casi, si preferisce realizzare le strutture a letto di chiodi [4].

Lo studio che verrà portato avanti in questa trattazione si basa proprio su queste ultime strutture, denominate nella pratica produttiva “fixtures”.

## 1.1. Le fixtures

Nel processo di test di schede elettroniche si inseriscono dunque le “fixtures”. Una fixture è una apparecchiatura meccanica che si utilizza come elemento di interfaccia tra una scheda elettronica da testare e la macchina di test. Dovendo mettere in collegamento la stessa macchina di test con schede elettroniche differenti, le fixtures devono essere progettate e realizzate in modo specifico per ogni scheda in test.

Una fixture è costituita da una serie di piani lavorati sovrapposti che permettono un corretto interfacciamento tra la scheda elettronica da testare e le risorse macchina.

Il collegamento tra fixture e macchina di test avviene attraverso una specifica parte della fixture: la testata. Essa ha la medesima struttura su ogni fixture ed è costituita da una serie di pin posizionati su linee parallele che si interfacciano con i loro complementari (con un accoppiamento tipo maschio-femmina precaricato a molla) sulla macchina di test. Il collegamento tra fixture e scheda avviene attraverso dei puntalini a molla collocati sulla fixture in corrispondenza degli specifici punti da testare sulla scheda, detti test point (TP). Infine, il collegamento tra la testata della fixture e i puntalini avviene tramite cablaggi tra gli elementi che costituiscono la sede dei puntalini, i ricettacoli, e i pin della testata.

Quando si parla di fixture, in primo luogo è necessario individuarne la tipologia. In generale una fixture può essere classificata come:

- one head/ dual head, a seconda che abbia una o due testate attraverso cui si interfaccia con la macchina di test;
- one stage/ dual stage, a seconda che siano collaudati uno o due pannelli di schede contemporaneamente;
- inline/ manuale, in base al fatto che la macchina di test sia collegata a una linea automatica oppure caricata e scaricata manualmente;

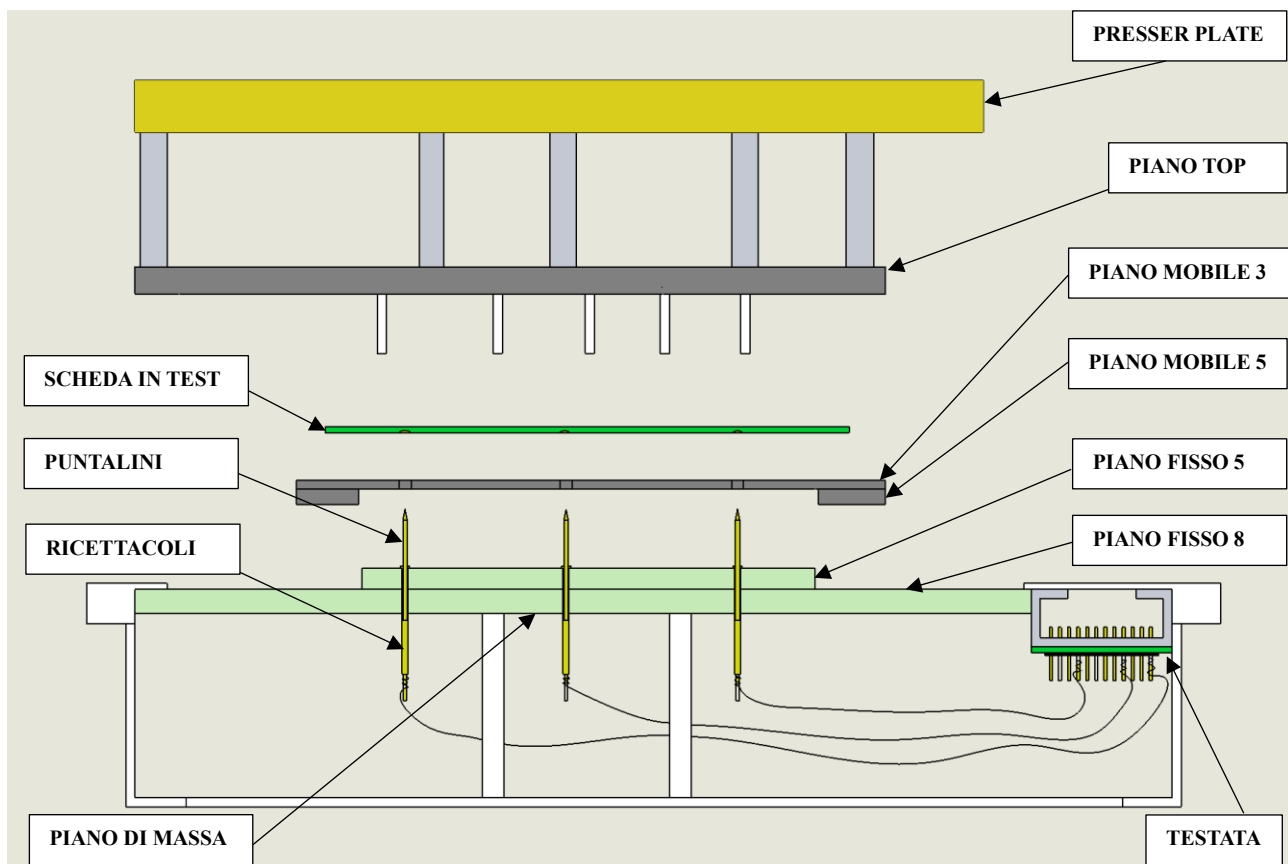
- contattazioni solo bottom/ contattazioni top e bottom, in base alla presenza di test point solo su un lato o su entrambi i lati della scheda.

Anche dopo aver inquadrato la fixture in una tipologia, il numero e la tipologia di piani che la costituiscono non sono sempre gli stessi, ma dipendono dalla scheda elettronica stessa e dalle modalità con cui avviene il test.

In generale in questa trattazione non si analizzeranno fixture manuali, mentre per le altre tipologie di fixture, la soluzione costruttiva più generica, con contattazione solo bottom, prevede:

- due piani fissi (piano fisso 8 e piano fisso 5) e un piano di massa solidali tra loro, che, fissati in un frame, costituiscono la base della fixture e ospitano i ricettacoli e i puntalini;
- due piani mobili (piano mobile 5 e piano mobile 3) solidali tra loro, che sorreggono la scheda;
- due piani superiori (piano top e presser plate) anch'essi solidali tra loro, che comprimono la scheda contro i puntalini a molla;
- una o due testate (a seconda di fixture one o dual head), che si interfacciano con la macchina.

Di seguito si presenta uno schema, che esplica la collocazione dei piani sopraccitati:



*Figura 1.1: schema fixture inline, contattazione solo bottom*

I due piani fissi costituiscono la base della fixture. Vengono chiamati piano fisso 5 e piano fisso 8 con riferimento al loro spessore (in millimetri). Essi sono dei piani lavorati con una serie di forature, che hanno come scopo principale quello di ospitare i ricettacoli.

I ricettacoli sono dei componenti meccanici assialsimmetrici cavi che hanno un'estremità a base quadrata; questo tipo di estremità è particolarmente adatto per applicare dei cablaggi, in quanto il filo, che si avvolge in modo circolare, riesce a far tenuta sugli spigoli della base quadrata. Se il filo si dovesse avvolgere attorno a un'estremità tonda esso non riuscirebbe a fare tenuta e scivolerebbe via. I ricettacoli sono inoltre cavi perché nella loro cavità ospitano i puntalini, ossia dei "chiodi" con estremità a molla che contattano la scheda in corrispondenza dei test point. L'estremità a molla è necessaria per garantire un certo precarico durante il contatto; in caso contrario la scheda risulterebbe solamente appoggiata sui puntalini e il contatto elettrico non sarebbe garantito in modo stabile.

Di seguito è possibile osservare la struttura di un ricettacolo e di un puntalino.



*Figura 1.2: Ricettacolo (di sopra) e puntalino (di sotto)*

Nella pratica aziendale i ricettacoli utilizzati sono di tre misure differenti: 100, 75 e 50 mils, che possiedono dei fori di montaggio rispettivamente da 1.70, 1.35 e 1.00 mm. Questa distinzione tra le diverse misure entra in gioco quando i punti da testare su una scheda sono molteplici e ravvicinati; in questo caso è necessario utilizzare ricettacoli di taglia inferiore per poterli posizionare il più ravvicinati possibile, senza però causare cortocircuiti.

Sul piano fisso 8 sono posizionate anche delle molle, che sostengono i piani mobili, che a loro volta sostengono la scheda. Le molle vengono compresse assieme alla scheda durante il test e, quando questo è terminato, riportano i piani mobili nella posizione originaria.

Al di sotto del piano fisso 8 è posto il piano di massa, un piano ricoperto in rame, il cui scopo è quello di eliminare i disturbi elettrostatici, che potrebbero generarsi a causa del grande numero di segnali ravvicinati presenti.

Questi piani che costituiscono la base sono poi inseriti e fissati in un frame metallico verniciato.

Sopra ai piani fissi, sostenuti dalle molle, sono posti dunque i due piani mobili, che sostengono a loro volta la scheda e vengono premuti assieme ad essa verso il basso. Essi sono opportunamente scaricati per consentire il passaggio dei puntalini, provenienti dal piano fisso 5, e permettere la loro contattazione sui test point della scheda.

I piani fissi, il piano di massa e i piani mobili nel loro insieme costituiscono il bottom della fixture.

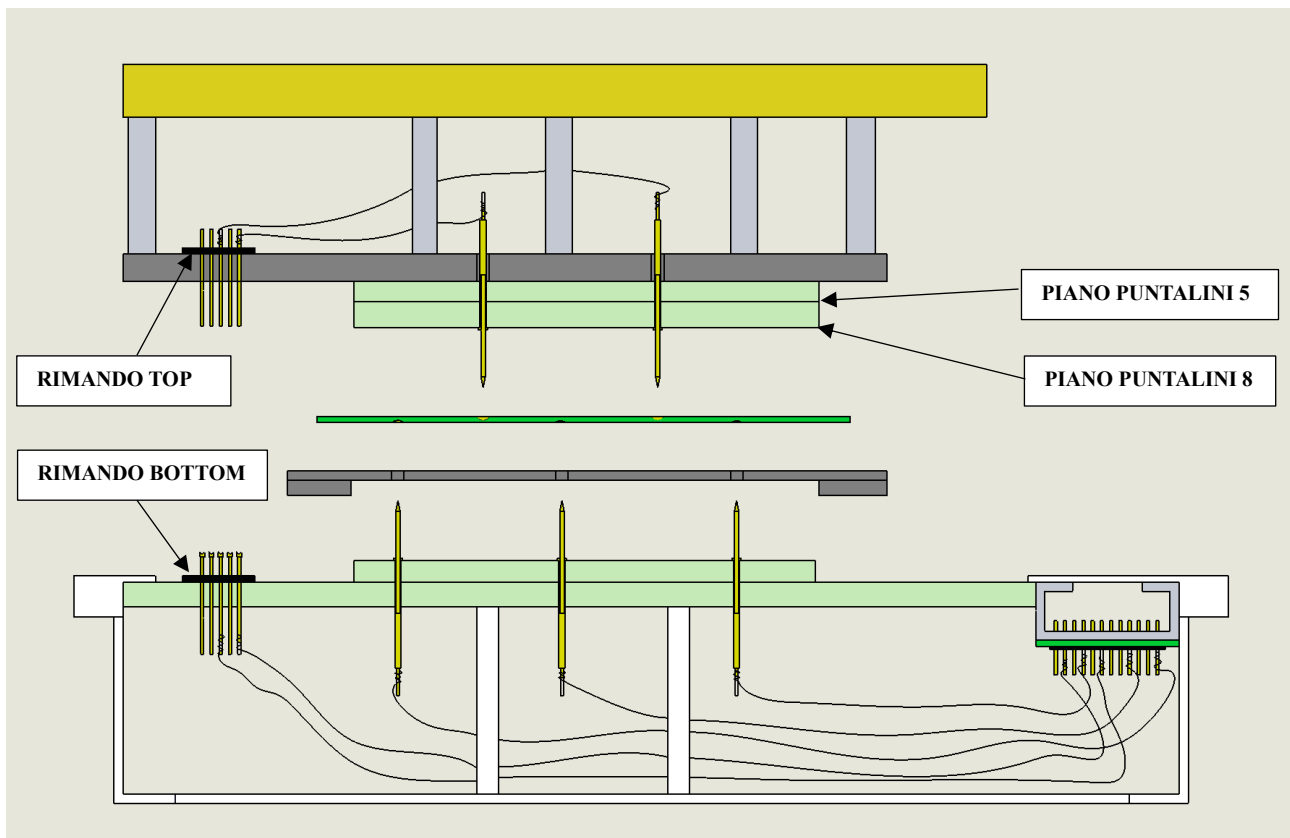
Il top della fixture ha lo scopo di premere, attraverso delle dita, la scheda verso il basso e mettere in contatto i suoi punti di test (TP) con i puntalini e di conseguenza, tramite i cablaggi sui ricettacoli, con la macchina. Esso è costituito da due piani, il piano top e il presser plate, fissati tra di loro attraverso dei distanziali.

La testata (o le testate nel caso dual head) è inserita lateralmente al resto dei piani e, come anticipato in precedenza, è la parte della fixture che ha il ruolo di interfacciarsi con la macchina di test.

La parte bottom della fixture è dunque inserita nella parte inferiore della macchina di test su opportune guide fisse; la parte top della fixture è inserita nella parte superiore della macchina, anch'essa su guide, ma traslanti verticalmente. Le schede scorrono in linea su un nastro trasportatore che passa attraverso il top e il bottom della fixture. Quando dei sensori verificano il corretto posizionamento della scheda, la macchina trascina verso il basso la parte top della fixture, che attraverso le dita spinge la scheda contro i puntalini, rendendo possibile il test.

In caso di contattazione top e bottom ai piani appena descritti si aggiungono due piani puntalini (piano puntalini 8 e piano puntalini 5), solidali ai due piani superiori. Il compito di questi è ospitare i ricettacoli e i puntalini che effettuano la contattazione sulla parte superiore della scheda.

Di seguito si presenta uno schema della fixture anche in questa configurazione:



*Figura 1.3: schema fixture inline, contattazione top e bottom*

Quando la scheda possiede anche contattazione top, è fondamentale l'utilizzo dei rimandi; in particolare essi si posizionano sempre in coppia, uno sul top e uno sul bottom. Un rimando è un connettore con doppia estremità, una in cui è possibile cablare e l'altra che permette un collegamento di tipo maschio-femmina precaricato a molla.

I rimandi sono quindi essenziali per portare in testata i segnali che vengono testati col top della fixture. Per rendere possibile ciò, la coda dei ricettacoli top è cablata con il retro del rimando top. Durante la discesa il rimando top contatta il rimando bottom, mentre la parte inferiore del rimando bottom è collegata al corrispondente canale della testata con un secondo cablaggio.

## **1.2. Le fasi di realizzazione di una fixture**

La realizzazione di una struttura a letto d'aghi o fixture è un'attività particolarmente complessa, che prevede la convergenza di ambiti di lavoro differenti e, di conseguenza, la cooperazione di figure professionali differenti. Se si pensa che nell'azienda esaminata, Roj srl, vengono realizzate circa 100 fixtures all'anno, si comprende come ogni figura debba lavorare in modo preciso, organizzato e con

un puntuale rispetto delle tempistiche calcolate; ogni arresto in una qualsiasi delle fasi comporta un ritardo sulla successiva, per questo è necessario ridurre al minimo gli errori e i ritardi, per evitare di non rispettare le tempistiche concordate con il cliente.

In sintesi, le fasi per la realizzazione di una fixture sono:

- Progetto elettronico;
- Progetto meccanico;
- Taglio dei piani;
- Assemblaggio della fixture;
- Cablaggio della fixture;
- Debug meccanico ed elettrico.

### **1.2.1. Progetto elettronico**

Il primo step per la generazione di una fixture è il progetto elettronico di questa. Il progettista elettronico è colui che deve decidere che cosa bisogna testare di una determinata scheda per ritenerla collaudata, in caso di superamento del test.

Egli deve dunque decidere, uno per uno, quali TP collegare con quale canale della testata della macchina. Tali collegamenti si tradurranno poi in una serie di cablaggi, realizzati manualmente, tra i ricettacoli e i pin della testata.

È già stato accennato in precedenza che su una scheda elettronica è possibile eseguire due tipologie di test: ICT e FCT.

Siccome il test ICT prevede principalmente controlli di continuità per verificare l'integrità dei componenti, esso richiede l'esecuzione di test abbastanza ripetitivi, pertanto si presta ad essere automatizzato. Sono infatti nati alcuni software che in modo automatico redigono una matrice che indica il numero di un test point e il numero del canale della testata da collegare ad esso, a seconda di alcuni criteri fissati in fase preliminare, senza più passare dal progettista elettrico. L'unica cosa che egli deve fare è impostare gli opportuni parametri e regole nel software e avviare la generazione dei collegamenti. Questa tipologia di cablaggi è detta "collegamenti di canale". È lo stesso software che, in base alle dimensioni delle piazzole e in base agli ingombri della scheda, determina la dimensione dei ricettacoli da utilizzare.

Per quanto riguarda i test FCT, essi sono dei test che prevedono l'analisi del funzionamento della scheda in diverse condizioni di lavoro. Queste diverse condizioni di lavoro sono scelte proprio dal progettista elettronico; pertanto, in questa fase, il suo lavoro è imprescindibile e sicuramente non automatizzabile da alcun software. In questa fase egli può decidere di collegare nuovamente i test point ad altri canali della testata, o inserire nella fixture degli hardware esterni e fare passare i cablaggi attraverso di essi. Questa tipologia di cablaggi prende il nome di “collegamenti di extra-canale”.

Il progettista elettronico si occupa infine di redigere tutta la documentazione necessaria per il compimento delle fasi successive, che passa di mano in mano in tutti gli step del processo. È lui che decide, spesso basandosi sulla tipologia di macchina di test che ha a disposizione, se la fixture debba essere inline o manuale, one head o dual head, one stage o double stage. Egli fornisce inoltre indicazione su quali piani realizzare e sul materiale di questi. Se nota la presenza di dettagli particolari sulla fixture da realizzare, inserisce delle note per i diversi reparti.

### **1.2.2. Progetto meccanico e taglio dei piani**

La documentazione redatta dal progettista elettrico passa dunque al progettista meccanico, colui che si occupa della progettazione della struttura meccanica del letto di chiodi.

Tale progettazione avviene in 2D e il progettista meccanico si avvale del programma di disegno tecnico AutoCAD. Tale software risulta particolarmente comodo per la progettazione bidimensionale in quanto consente di lavorare su layer sovrapposti (e visibili in trasparenza) e di osservare quindi l'effetto di una modifica su tutti i piani contemporaneamente.

Su AutoCAD nel corso degli anni sono stati preparati una serie di studi base in relazione a tutte le possibili specifiche di progetto (one/dual stage, one/dual head, inline/manuale). Sulla base di tali specifiche il progettista sceglie lo studio base opportuno e, a partire da questo, inizia la vera e propria progettazione meccanica della fixture.

In questa fase il progettista deve tracciare uno alla volta il profilo di tutti i piani che costituiscono la fixture e posizionare una serie di dispositivi di fissaggio, centraggio e riscontro oltre che dispositivi ausiliari che garantiscano un corretto posizionamento (al decimo di mm). Tutti i dispositivi inseriti su un piano comportano l'inserimento di fori, fresature, scarichi e ribassi sui piani adiacenti. Tali lavorazioni sono essenziali per garantire una corretta contattazione della scheda e consentire al contempo un agevole montaggio della fixture.

In fase di progetto è molto utile anche un'altra funzionalità di AutoCAD, ossia i blocchi. Essi consentono di creare un'entità unica che possiede al suo interno lavorazioni su diversi layer. L'effetto è che collocata quell'unità, non è necessario inserire anche gli scarichi sui diversi piani che essa comporta, ma tali scarichi vengono aggiunti contemporaneamente ad essa. Inoltre, visto che è frequente lavorare su schede pannellizzate, si è soliti anche creare un blocco scheda, in modo che le lavorazioni inserite su una figura del pannello, siano replicate automaticamente su tutte le altre.

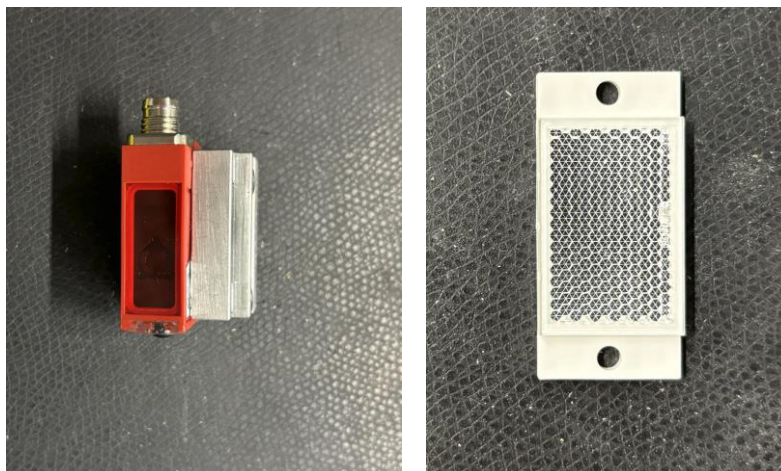
In particolare, i componenti che il progettista meccanico deve posizionare sono:

- Delle spine per il centraggio e delle viti di fissaggio sui piani adiacenti tra loro.
- Due boccole sul piano fisso 8 e due spine sul piano top per il centraggio della parte top sul bottom durante la discesa.



*Figura 1.4: Boccola e spina per centraggio top fixture sul bottom fixture*

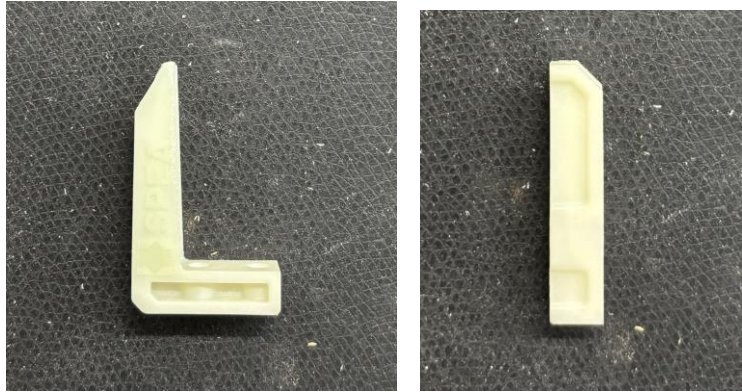
- Tre sensori (presenza scheda anteriore, presenza scheda posteriore, antirotazione) il cui fascio attraversa la fixture per tutto il suo spessore e termina su un catadiottro riflettente sul lato opposto. Essi sono necessari per il corretto posizionamento della scheda sulla fixture.



*Figura 1.5: Sensore (a destra) e catadiottro (a sinistra)*



- Quattro denti di precentraggio per ogni pannello (due dal basso posizionati sul piano fisso 8 e due dall'alto posizionati sul piano top), che guidano la scheda nella fase di discesa verso la parte bottom.



*Figura 1.6: denti di precentraggio top e bottom*

- Quattro distanziali flottanti e dei distanziali ciechi per unire piano top e presser plate.



*Figura 1.7: distanziali flottanti (a sinistra), distanziali ciechi (a destra)*

- Delle molle sul piano fisso 8 necessarie per sostenere i piani mobili.



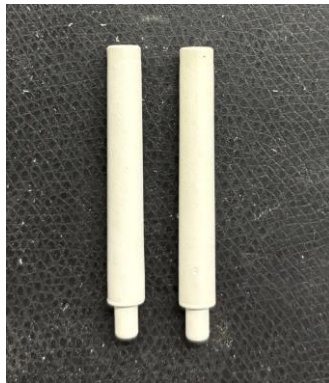
*Figura 1.8: molle di sostegno*

- Dei piccoli distanziali, chiamati stand-off, sul piano mobile da 3, necessari per sostenere la scheda in test.



*Figura 1.9: stand-off*

- Dei distanziali, detti distanziali piano fisso, posti sul lato posteriore del piano fisso 8, di una lunghezza tale da appoggiarsi al coperchio di chiusura inferiore, necessari come riscontro della spinta proveniente dalla discesa della parte top.



*Figura 1.10: distanziali piano fisso per sostegno piani fissi*

- Quattro/cinque blocchetti chiodi spintori fissati sul piano top, necessari per effettuare una prima precompressione della scheda verso il basso:



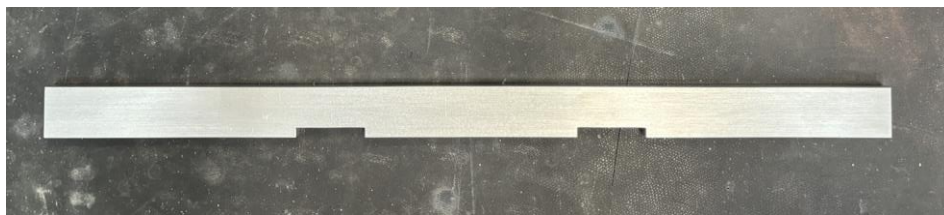
*Figura 1.11: blocchetto chiodo spintore per precentraggio scheda sul bottom fixture*

- Delle dita di spinta e delle colonnine sempre sul piano top, che effettuano la vera spinta verso il basso sulla scheda e sui piani mobili.



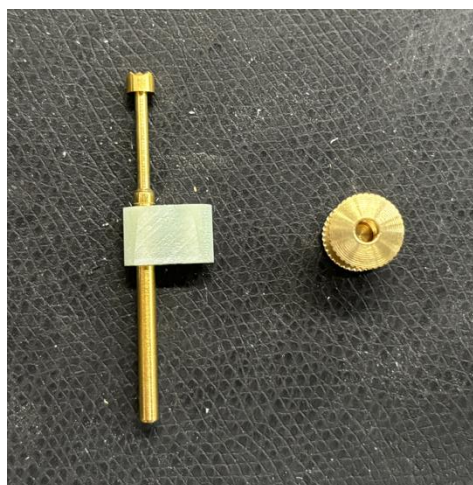
*Figura 1.12: dita di spinta (a sinistra), colonnine (a destra)*

- Una barra di irrigidimento sulla parte superiore del piano top, necessaria per aumentare la rigidità di quest'ultimo e prevenire un possibile imbarcamento.



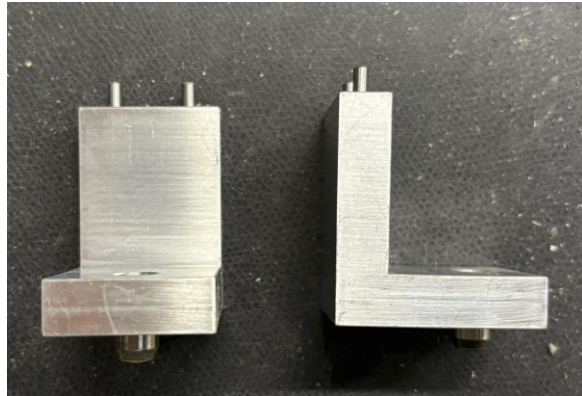
*Figura 1.13: barra di irrigidimento piano top*

- Un chiodo di massa sul piano fisso 8 e la corrispondente vite sui piani mobili, necessari per scaricare a massa le correnti parassite sulla scheda.



*Figura 1.14: Chiodo di massa (a sinistra) e vite di massa (a destra)*

- Due staffe a L posizionate sulla parte posteriore del piano fisso 8 necessarie per il centraggio della fixture in macchina.



*Figura 1.15: staffe a L*

- Un sensore meccanico detto “anticollisione”, che costituisce un’ulteriore verifica che garantisce il corretto posizionamento della scheda.



*Figura 1.16: sensore anticollisione per verifica corretto inserimento scheda in fixture*

- Quattro dita magnetiche sul piano top necessarie per spingere i nastri che trasportano la scheda verso il basso durante le fasi di discesa



*Figura 1.17: dita magnetiche*

- Un certo numero di rimandi, qualora ci fosse contattazione top



*Figura 1.18: rimandi*

- Eventuali hardware nel caso il progettista elettrico avesse previsto particolari test funzionali

Questi componenti portano quindi con loro diverse lavorazioni per il loro fissaggio e diversi scarichi per evitare che la loro presenza interferisca con i piani della fixture.

Al termine della progettazione il progettista deve anche verificare che i componenti inseriti non portino a un'eccessiva deformazione del pannello durante la fase di compressione. La tecnica ideale per visualizzare tale deformazione sarebbe realizzare un modello agli elementi finiti (FEM) del PCB e di tutti i suoi strati in rame e altresì di tutti i dispositivi di spinta che agiscono su di esso e realizzare un'analisi agli elementi finiti (FEA) per individuare le zone più critiche in termini di flessione del

PCB. Individuate tali zone, è possibile intervenire inserendo sulla fixture opportuni dispositivi di contrasto, per limitare la flessione e prevenire possibili rotture ed eventualmente modellare il nuovo sistema ed effettuare una seconda verifica [5].

Bisogna pensare però che in termini di produttività aziendale tale tecnica risulta inattuabile, in quanto la sola modellazione del sistema prevederebbe diversi giorni, e, tali tempistiche, risulterebbero simili alla durata globale della fase di progetto meccanico.

Come alternativa, al progettista meccanico viene reso disponibile un tool, compreso nello stesso software che fornisce i collegamenti per il test ICT, che permette di modellare in modo semplificato il sistema (vengono modellati soltanto scheda, stand off e dita di spinta) e simulare un'analisi di deformazione in maniera qualitativa. Se i valori di deformazione massima non sono oltrepassati (in genere  $800 \mu\text{m/m}$ ) la verifica è superata; in caso contrario è necessario apportare alcune modifiche sul posizionamento dei componenti e in particolare si può agire soltanto sulla posizione delle dita di spinta e degli stand-off. Il processo risulta iterativo e quando la verifica è soddisfatta è possibile proseguire.

Al termine dell'analisi di deformazione il progettista può iniziare a produrre i file di foratura.

I file di foratura sono gli stessi piani presenti nel progetto completo, che vengono però esportati in modo che ogni file contenga un singolo piano. La differenza principale tra i piani disegnati nel progetto della fixture e i piani isolati sui file di foratura è che nei primi viene rappresentato il profilo del piano e le lavorazioni esattamente come saranno sul pezzo finito, mentre nel secondo sono rappresentati i percorsi utensili necessari per realizzare tale profilo. Se per quanto riguarda le forature tali lavorazioni corrispondono, non si può dire lo stesso per le fresature, in cui è necessario anziché tracciare il profilo finale, tracciare il profilo del centro fresa, con un offset rispetto al profilo finale del valore del raggio di quest'ultima. È necessario assegnare una lavorazione ad ogni entità tracciata sul CAD. A ogni tipologia di lavorazione presente su quel piano viene assegnato un layer specifico, che contiene nel nome sia un'indicazione sul tipo di lavorazione (foro, fresatura, scarico, taglio...) sia uno specifico comando riconoscibile dal software CAM. In effetti, elaborato il file di foratura di ogni piano esso viene caricato sul CAM, che riconosce i nomi di layer e abbina ogni nome a uno specifico utensile che esegue una specifica lavorazione. Il CAM genera in output un file di testo che contiene i comandi macchina in linguaggio ISO. Si crea dunque una cartella con una serie di file di testo, ognuno corrispondente a un piano della fixture.

Tale cartella viene quindi passata dal progettista a un operatore dell'officina, assieme alla documentazione redatta dal progettista elettrico.

Il meccanico, leggendo il nome del file, comprende quale piano tagliare; dalla documentazione legge invece il materiale assegnato a ogni piano e di conseguenza comprende quale tipologia di piano inserire in macchina, una macchina a controllo numerico a 3 assi. A quel punto carica sulla macchina il programma relativo al piano da tagliare, setta l'origine, e avvia la lavorazione. Tale operazione va eseguita per ogni piano.

Se tutto è andato come previsto dalla CNC escono dei pezzi perfettamente corrispondenti al CAD del file di foratura dei piani corrispondenti. L'operatore tipicamente deve aggiungere soltanto le poche lavorazioni non effettuate dalla macchina come filettature e svasature.

### **1.2.3. Analisi dettagliata dei piani realizzati**

Per chiarire meglio i concetti introdotti in precedenza, si presenta ora un'analisi dettagliata per diversi piani prodotti per una fixture realizzata durante il periodo del progetto.

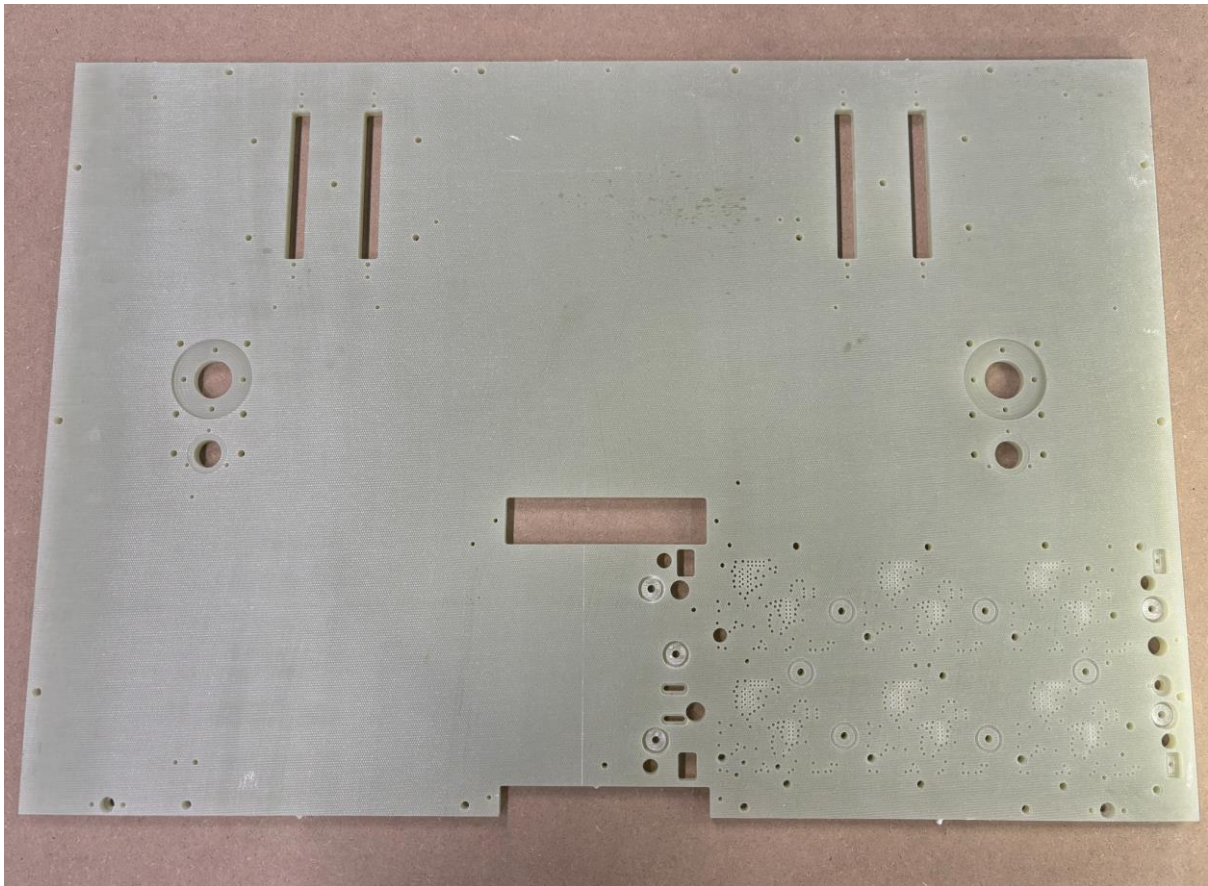
Innanzitutto, è necessario specificare che tale fixture si classifica come dual head, one stage, inline e con contattazione top e bottom.

Di conseguenza i piani da realizzare sono: piano fisso 8, piano fisso 5, piano di massa, piano mobile 3, piano mobile 5, piano puntalini 8, piano puntalini 5, piano top e presser plate.

Di seguito saranno analizzati i diversi piani singolarmente:

#### **PIANO FISSO 8**

Il piano fisso 8 costituisce il basamento della fixture; è realizzato generalmente in FR4 e ha lo spessore di 8 mm. Le dimensioni dei lati del piano fisso 8 sono standardizzate e determinate dalla dimensione del frame della fixture in cui viene inserito. Pertanto, su di esso non è necessario tracciare il profilo sul CAD, in quanto è sempre il medesimo e, essendo il piano già delle dimensioni corrette non è necessario neanche tagliare il contorno del piano, ma è sufficiente eseguire solo le lavorazioni interne.



*Figura 1.19: piano fisso 8*

Le lavorazioni realizzate su di esso sono:

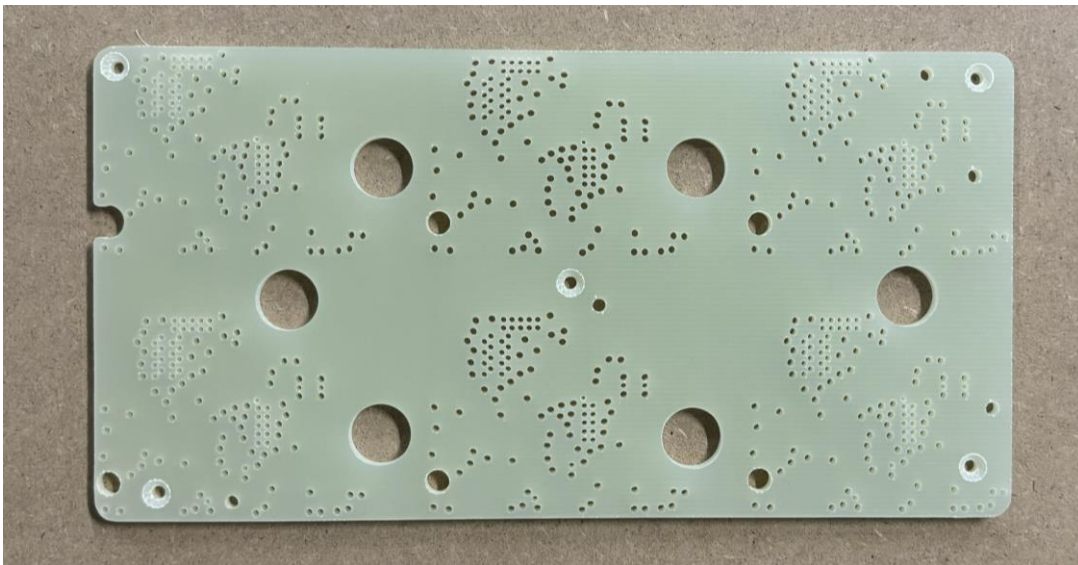
- Fori per consentire il passaggio dei ricettacoli di 3 diverse dimensioni (50, 75 e 100 mils).
- Fori filettati per il fissaggio del fisso 8 con il frame, con il fisso 5.
- Fori spina per il centraggio del fisso 5 sul fisso 8, dei piani mobili sui piani fissi, della scheda sul lato bottom della fixture, del bottom della fixture sulla macchina di test.
- Lavorazioni (ribassi + fori filettati) per l'inserimento di boccole per centraggio parte top su parte bottom.
- Gole per l'inserimento delle molle di sostegno ai piani mobili.
- Scarichi per l'inserimento di rimandi e per il passaggio dell'anticollisione.
- Lavorazioni (asole lamate e fori passanti) per il fissaggio dei sensori, dei catadiottri e per consentire il passaggio del fascio laser tra di essi.
- Lavorazioni (ribassi e fori filettati) per l'inserimento di denti di precentratura della scheda sul lato bottom della fixture.



- Fori per l'inserimento dei distanziali piano fisso, necessari a separare il piano fisso 8 dalla lamiera di chiusura, che racchiude il lato bottom della fixture.
- Fori per inserimento chiodo di massa, necessario per scaricare a massa i piani mobili.

## PIANO FISSO 5

Il piano fisso 5 si posiziona sulla parte superiore del piano fisso 8; è realizzato anch'esso generalmente in FR4 e ha lo spessore di 5 mm. Il suo ruolo è quello di consentire il piantaggio dei ricettacoli, che ospitano nelle loro cavità i puntalini, che contattano la scheda nei TP. Le dimensioni dei lati del piano fisso 5 sono strettamente collegate alle caratteristiche della scheda e in particolare sono tracciati mantenendo un offset di 1mm rispetto al ricettacolo più esterno su ogni lato. Nel caso in cui la fixture sia dual stage devono essere progettati e realizzati di due questi piani. In generale questo piano ricopre solo una piccola frazione del piano fisso 8.



*Figura 1.20: piano fisso 5*

Le lavorazioni realizzate su tale piano sono:

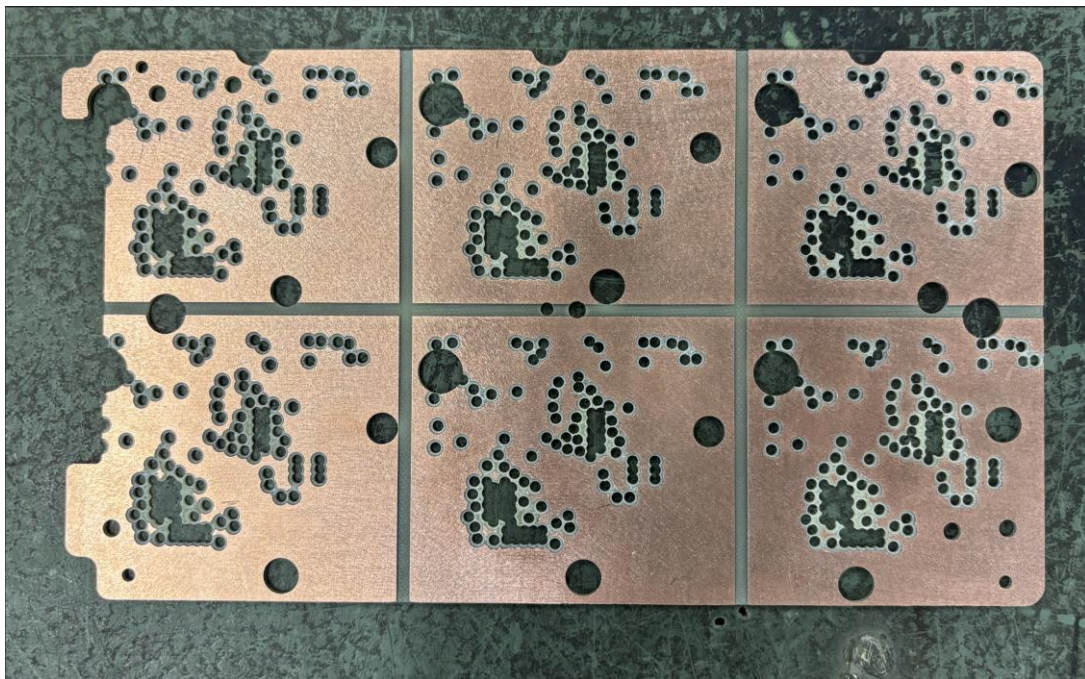
- Fori calibrati per consentire il piantaggio dei ricettacoli delle 3 diverse dimensioni.
- Fori filettati per consentire il fissaggio del fisso 5 al fisso 8.
- Fori spina per il centraggio del fisso 5 sul fisso 8, della scheda sul bottom della fixture,

- Scarichi per il passaggio delle molle di riscontro dei piani mobili, degli attacchi dei distanziali piano fisso (sporgenti dal fisso 8 verso il basso), del fascio laser tra sensore e catadiottro.

## PIANO DI MASSA

Il piano di massa è un piano realizzato in FR4 e ricoperto da uno strato superficiale di rame su un lato. In totale esso risulta spesso 1.6 mm. La sua funzione è quella di rimuovere i disturbi elettrostatici, che influenzerebbero la trasmissione dei segnali.

Esso è fissato sulla parte posteriore del piano fisso 8, con la parte ramata a vista, e presenta dimensioni simili al piano fisso 5, leggermente più abbondanti, in quanto sulla parte bottom gli ingombri sono minori.



*Figura 1.21: piano di massa*

Le lavorazioni osservabili su tale piano sono:

- Fori di passaggio dei ricettacoli da 50, 75 e 100 mils.
- Fori di fissaggio del piano di massa al fisso 8.
- Scarichi per il passaggio dei distanziali piano fisso.

- Scarichi per il posizionamento dei sensori.

È necessario evidenziare che eventuali trucioli della parte ramata potrebbero finire in corrispondenza dei ricettacoli e causare cortocircuiti, per questo motivo su tutte queste lavorazioni è operata anche una svasatura, che aumenti il margine della parte ramata rispetto allo scarico. Proprio per il fatto che è necessario effettuare tale svasatura, tale piano è da lavorare dal lato bottom, quindi rispetto al progetto fixture, al momento di realizzare il file di foratura, tale piano va specchiato.

## **PIANO MOBILE 5**

Il piano mobile 5 è un piano realizzato in EGS619AS, un particolare materiale antistatico e ha uno spessore di 5 mm. L'insieme di piano mobile da 5 e piano mobile da 3 si appoggia sulle molle dei piani fissi e ha la funzione di sostenere la scheda durante il test. In particolare, il piano mobile 5 che solitamente si realizza, è corrispondente alla parte esterna del mobile 3 e si incastra sul contorno esterno del piano fisso 5.



*Figura 1.22: piano mobile 5*

In particolare, su questo piano mobile è possibile osservare:

- Fori per il fissaggio del piano mobile 5 con il piano mobile 3.
- Fori spina per il centraggio dei piani mobili sui piani fissi.
- Scarichi per il passaggio dei denti di precentraggio, dell'anticrash, del fascio laser dei sensori.

- Fori filettati per l'inserimento di colonnine a testa esagonale.
- Foro per l'inserimento della vite di massa, che spinge il chiodo di massa, posizionato nella medesima posizione sul piano fisso 8 e ha la funzione di mandare a massa tutto ciò che è presente sul piano mobile.

### PIANO MOBILE 3

Il piano mobile 3 è realizzato anch'esso in EGS619AS. Esso ha uno spessore di 3 mm e ha la funzione, insieme col piano mobile 5, di sostenere le schede durante il test; pertanto, la dimensione di tale piano deve essere leggermente più abbondante del pannello che contiene le schede.



*Figura 1.23: piano mobile 3*

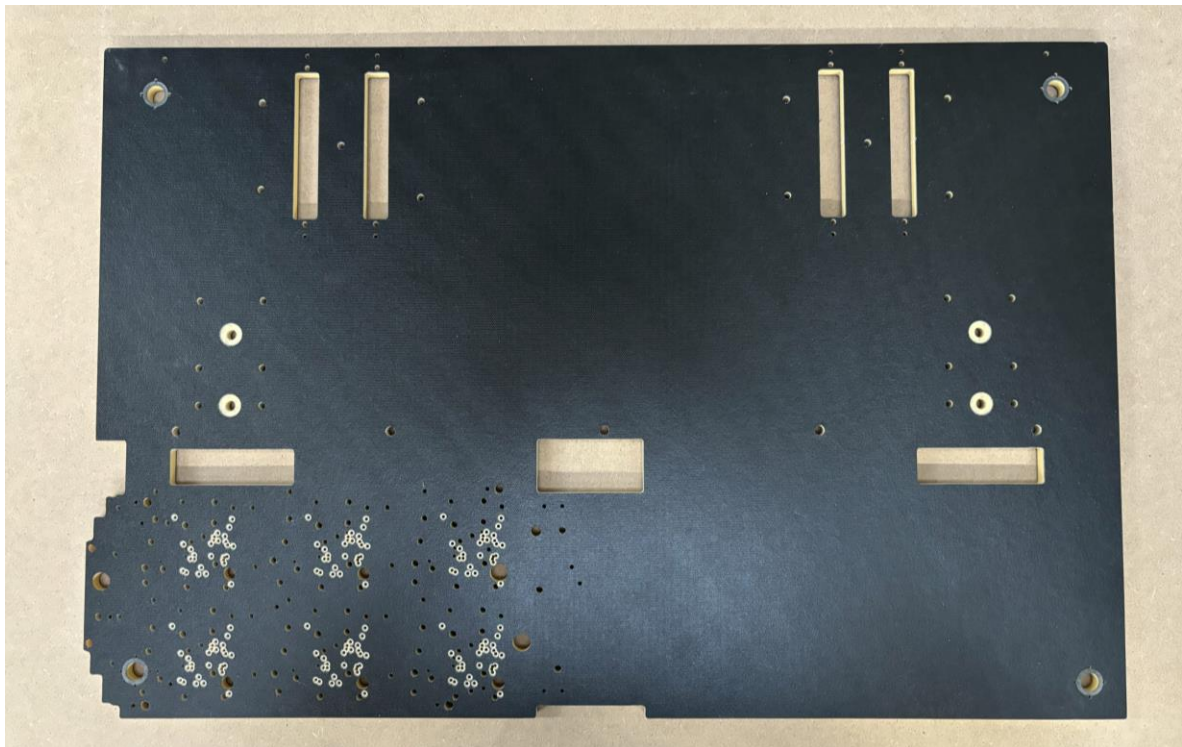
In particolare, su questo piano mobile è possibile osservare:

- Fori di scarico per i puntalini che devono contattare i TP della scheda.
- Fori svasati per l'inserimento di viti per fissaggio del piano mobile 5 con il piano mobile 3.
- Fori per il passaggio delle spine di centraggio dei piani mobili sui piani fissi, della scheda sul bottom della fixtures, del mobile 3 sul mobile 5.
- Scarichi per il passaggio dei denti di precentratura, dei componenti alti sul lato bottom della scheda, dell'anticrash, del fascio laser dei sensori.
- Fori filettati per l'inserimento di colonnine a testa esagonale; tali teste devono sporgere rispetto al piano mobile in modo da costituire un riscontro alla spinta del piano top durante il test.

- Foro per l'inserimento della vite di massa.
- Fori per l'inserimento degli stand-off, ossia i componenti che sostengono direttamente la scheda dal basso. Tali fori sono posti in modo omogeneo all'interno del piano mobile 3.

## PIANO TOP

Il piano top è un piano realizzato in FR4, ricoperto da materiale antistatico (EGS619AS) e di spessore 8 mm. Esso, in generale, ha la funzione di spingere dall'alto attraverso delle dita, la scheda contro i puntalini provenienti dalla parte bottom della fixture e garantire una adeguata contattazione. In questa fixture, che possiede anche contattazione top, durante la fase di discesa si osserva anche la compressione dei puntalini e dunque la contattazione con il lato top della scheda.



*Figura 1.24: piano top*

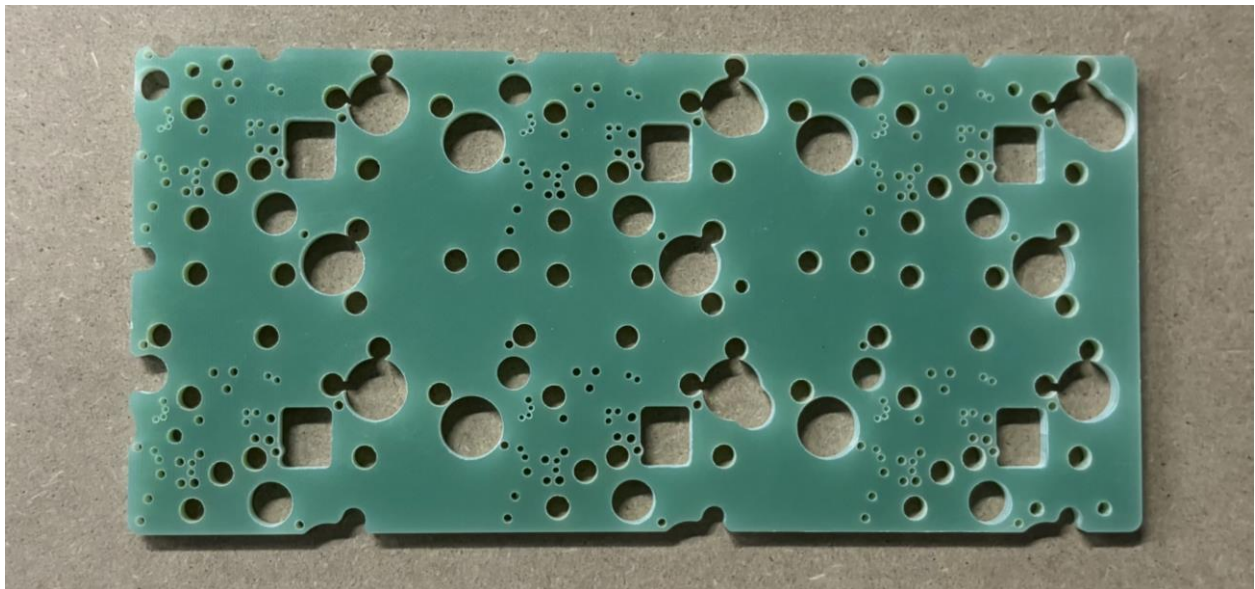
Nello specifico su questo piano è possibile osservare:

- Fori per il fissaggio sul piano top dei distanziali flottanti che lo collegano al presser plate, dei distanziali ciechi che lo distanziano dal presser plate, delle dita di spinta, di una barra di irrigidimento, dell'anticollisione, dei chiodi spintori (che effettuano una precompressione in fase di discesa).

- Fori spina per il centraggio della parte top della fixture sulla parte bottom (attraverso boccole).
- Scarichi per il passaggio del rimando, dei denti di precentraggio, del fascio laser dei sensori, dell'anticollisione, delle dita magnetiche (che spingono in basso il nastro trasportatore su cui scorrono le schede in linea).
- Fori per l'inserimento di colonnine che spingono le corrispondenti colonnine poste sul piano mobile.
- Fori per l'inserimento della vite di massa top e per la messa a terra del piano top.
- Scarichi per i ricettacoli da 50, 75 e 100 mils che effettuano la contattazione top.

## PIANO PUNTALINI 5

Il piano puntalini 5 si posiziona sulla parte inferiore del piano top; è realizzato in FR4 e ha lo spessore di 5 mm. Il suo ruolo è simile a quello che il piano fisso 8 svolge sul bottom: costituisce una sorta di basamento e permette di raggiungere la corretta quota di piantaggio dei ricettacoli necessari per la contattazione top. Anche in questo caso le dimensioni del piano sono tracciate mantenendo un offset di 1 mm rispetto al ricettacolo più esterno su ogni lato e anche in questo caso, qualora la fixture sia dual stage, devono essere progettati e realizzati di due questi piani.



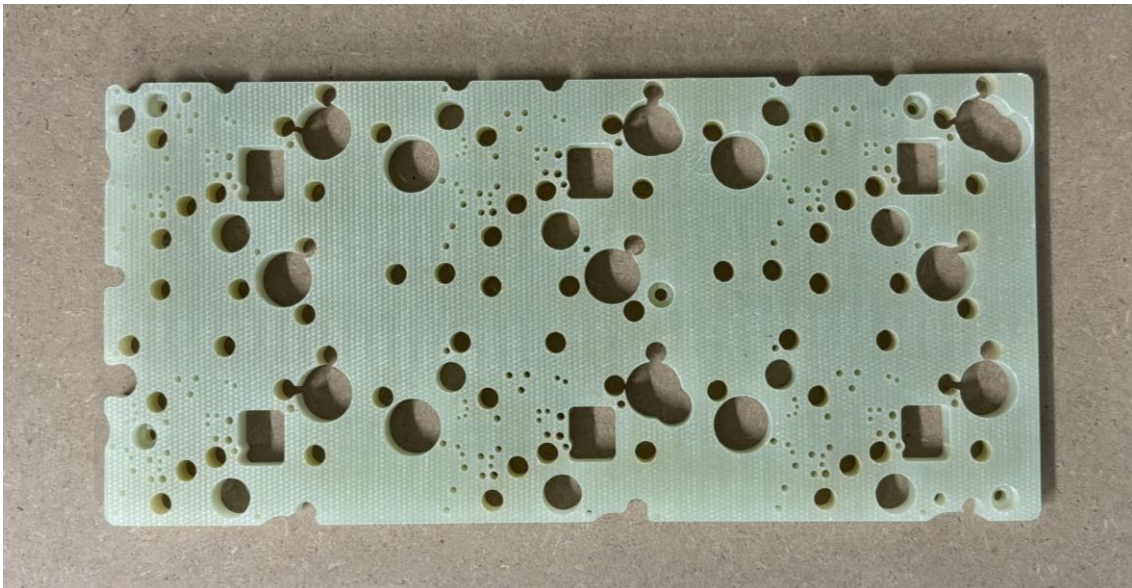
*Figura 1.25: piano puntalini 5*

Le lavorazioni presenti su tale piano sono:

- Spina di centraggio con piano puntalini 8 e piano top.
- Fori di passaggio per ricettacoli da 50, 75 e 100 mils.
- Fori di scarico per il passaggio delle dita e per le viti di fissaggio dei distanziali ciechi.
- Scarichi dei blocchetti chiodi spintori e dei componenti alti sulla scheda.
- Fori per le viti di fissaggio a 3 con piani puntalini e piano top.

## PIANO PUNTALINI 8

Il piano puntalini 8 si posiziona sulla parte inferiore del piano puntalini 5; è realizzato anch'esso in FR4 e ha lo spessore di 8 mm. Il suo ruolo è il medesimo che il piano fisso 5 svolge sul bottom, ossia costituisce la sede per il piantaggio dei ricettacoli per la contattazione top. Le dimensioni sono le medesime del piano puntalini 5.

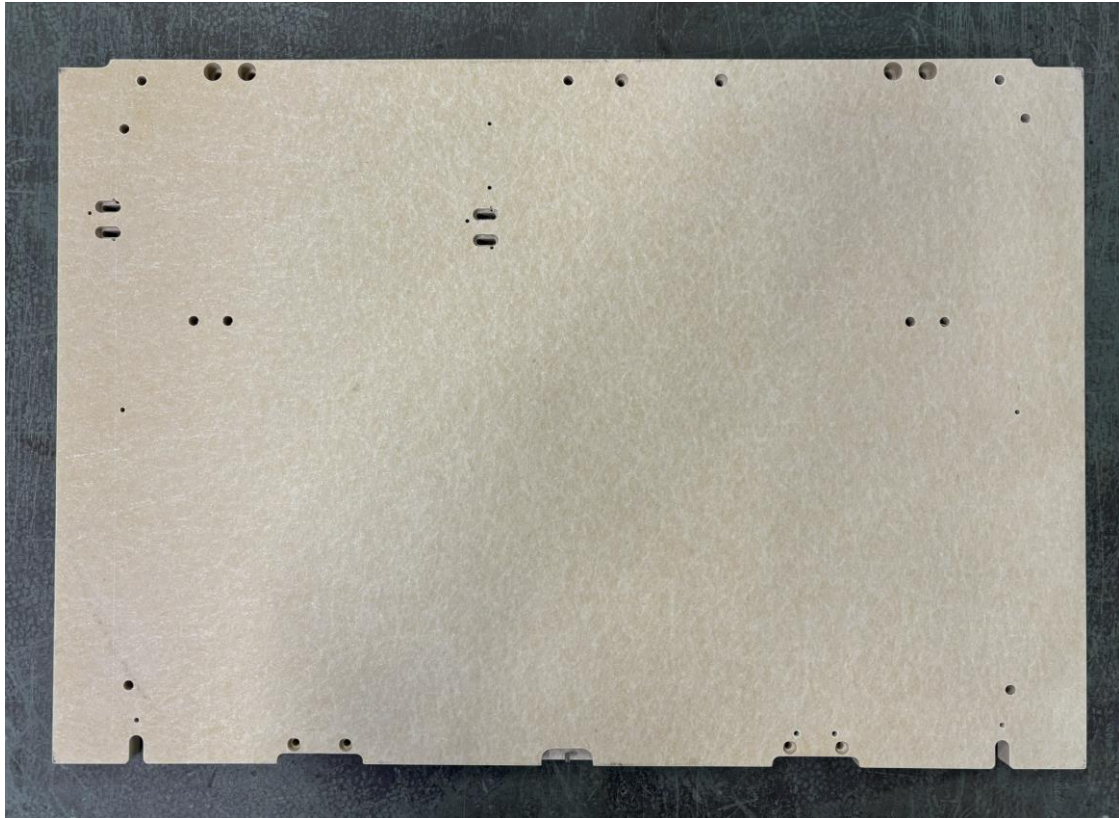


*Figura 1.26: piano puntalini 8*

Oltre alle dimensioni, anche le lavorazioni effettuate sono le medesime rispetto al piano puntalini 5. Le uniche differenze sono che i fori per il piantaggio dei ricettacoli sono calibrati sul piano puntalini 8 e scaricati sul piano puntalini 5 e che, inoltre, sul piano puntalini 8 è presente la lamatura per la vite a testa cilindrica che lo fissa al piano top assieme al piano puntalini 5.

## PRESSER PLATE

Il presser plate è un piano realizzato in Delmat di spessore 16 mm; il piano possiede alcune pre-lavorazioni e le sue dimensioni sono standardizzate per il corretto inserimento sulle guide della macchina di test. Il presser plate è fissato alla parte superiore del piano top attraverso i distanziali flottanti e su di esso si cerca di eseguire il minor numero di lavorazioni possibili, visto il suo notevole spessore.



*Figura 1.27: presser plate*

Sul presser plate è possibile osservare:

- Fori per il fissaggio dei distanziali flottanti che collegano il presser plate al piano top, delle dita magnetiche che spingono il nastro trasportatore su cui scorrono le schede, dei sensori e dei catadiottri, della barra utilizzata come riferimento per l'ingresso in macchina.
- Altri fori, già presenti sul piano originario prelavorato, alcuni utilizzati per l'attacco di rimandi o hardware esterni, altri soltanto predisposti.



#### **1.2.4. Assemblaggio della fixture**

Una fixture si può immaginare come un complessivo composto da due sottoassiemi, il bottom fixture e il top fixture, che entrano in contatto soltanto nel momento in cui viene testata la scheda elettronica. A sua volta, anche il bottom fixture è formato da tre sottoassiemi: la base (solidale al frame), i piani mobili e le testate.

La procedura di assemblaggio consiste nell'assemblare prima le tre parti costituenti il bottom fixture, assemblarle tra loro e successivamente assemblare il top.

#### **MONTAGGIO DELLA BASE**

L'assemblaggio della fixture comincia dalla base della parte bottom.

Il primo piano che si taglia è il piano fisso 8 e l'assemblaggio comincia da esso. Per prima cosa si inseriscono i componenti montati a pressione, che in questo caso sono solamente le boccole di scorrimento dei piani mobili.

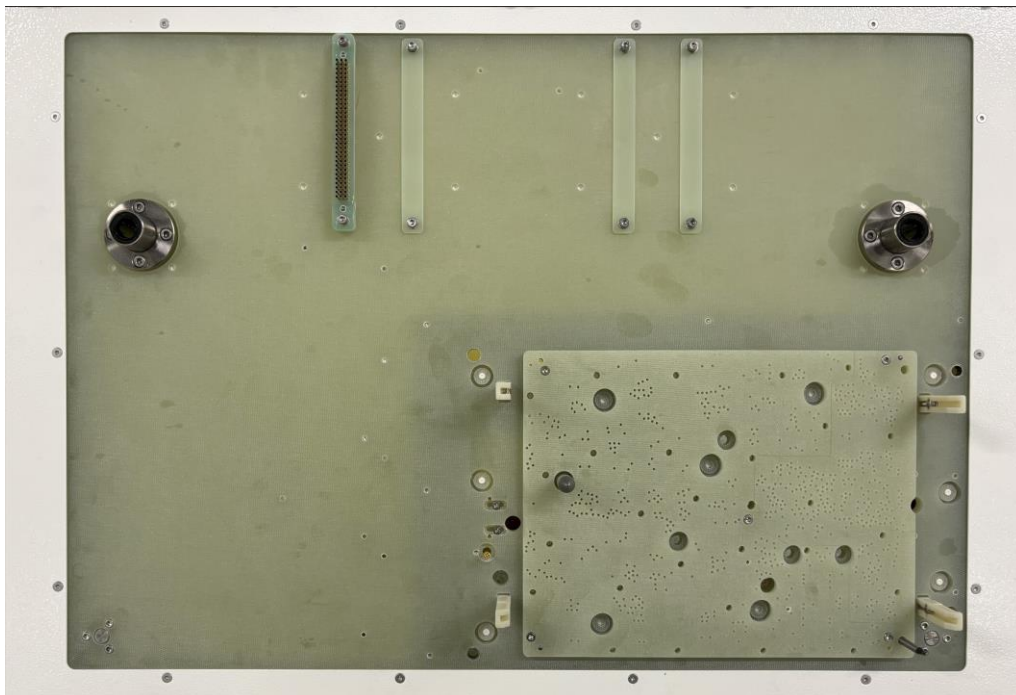
Successivamente si taglia il piano fisso 5, lo si centra sulla parte superiore del piano fisso 8 attraverso due spine e lo fissa ad esso attraverso delle viti a testa cilindrica, che rimangono incassate nel piano da 5 mm. In seguito, si capovolge il piano fisso 8, e sulla sua parte posteriore si fissa il piano di massa.

A questo punto l'insieme di questi tre piani viene fissato al frame attraverso viti a testa svasata. Sull'insieme di questi tre piani fissati al frame, iniziano ad essere fissati i diversi componenti. Si parte dalla parte posteriore (quella in cui è presente il piano di massa) e su questo lato si fissano la base per l'inserimento della vite di massa, i sensori, i catadiottri, i distanziali piano fisso, i coperchi per il passaggio dei conveyor, 2 staffe a L per il centraggio della fixture nella macchina di test.



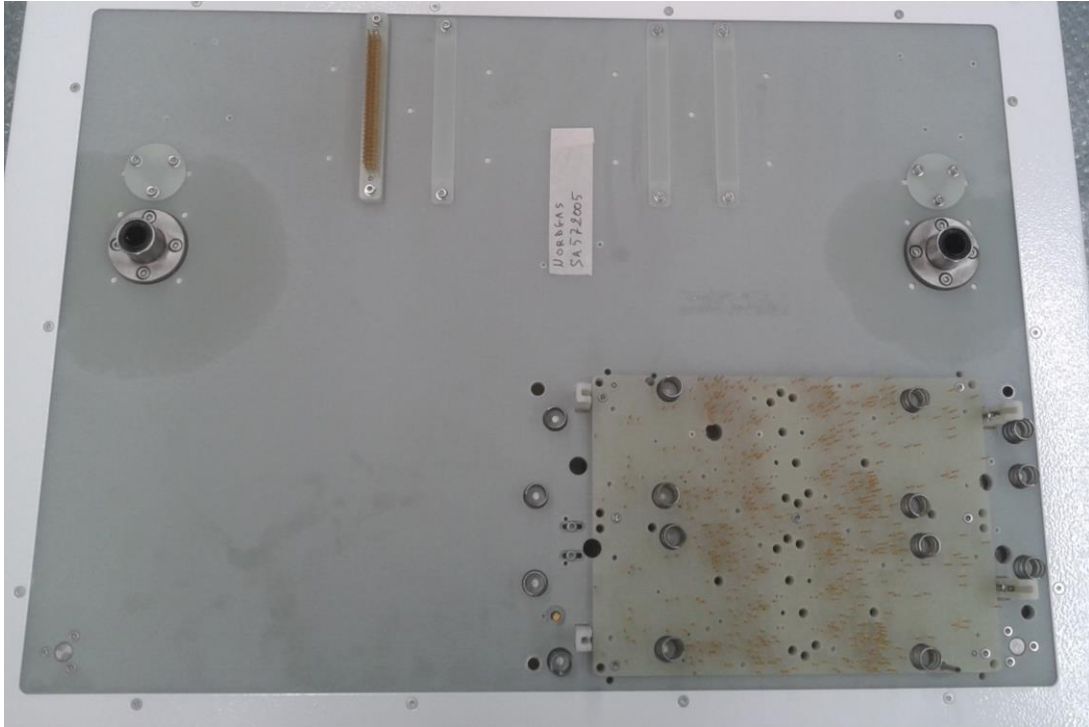
*Figura 1.28: base bottom fixture, vista posteriore*

Poi si capovolge la fixture e sul lato anteriore (quello in cui è presente il piano fisso 5) si fissano dei coperchi per chiudere gli scarichi di componenti non utilizzati ma soltanto predisposti; si fissano i denti di precentraggio, i rimandi, le boccole e si inseriscono le vite di massa e le spine di centraggio scheda.



*Figura 1.29: base bottom fixture, vista anteriore*

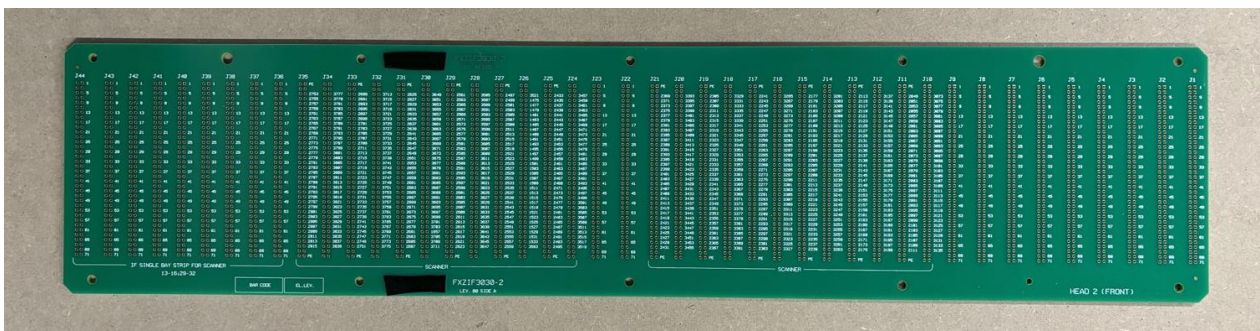
Infine, tornando sul lato superiore, vengono piantati i ricettacoli da 50, 75 e 100 mils a partire dal piano fisso 5. Successivamente vengono inserite le molle nelle opportune sedi dei piani fissi e i puntalini nelle sedi dei ricettacoli.



*Figura 1.30: base bottom fixture completamente montata, vista anteriore*

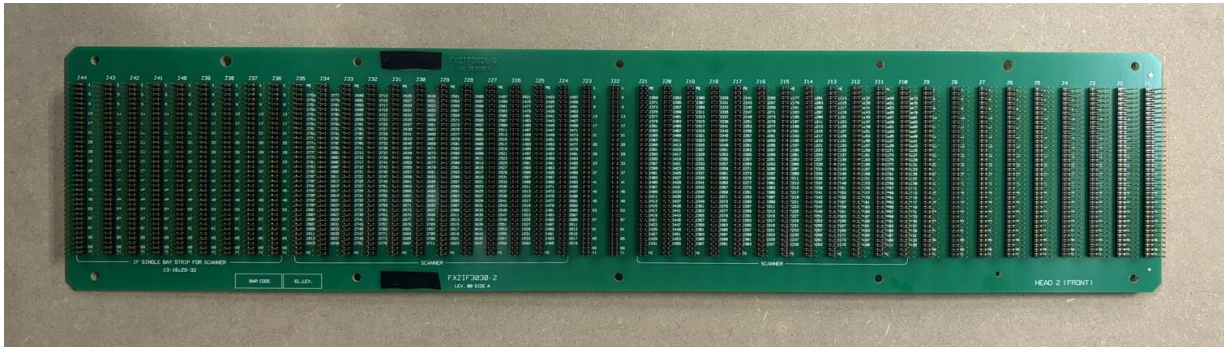
## **MONTAGGIO DELLE TESTATE**

Dopo il montaggio della base si procede col montaggio delle testate. L'assemblaggio parte dal circuito stampato della testata, che è un prelaborato e possiede sulla sua superficie una serie di file di fori metallizzati, che costituiscono la sede per dei connettori tipo "pin strip".



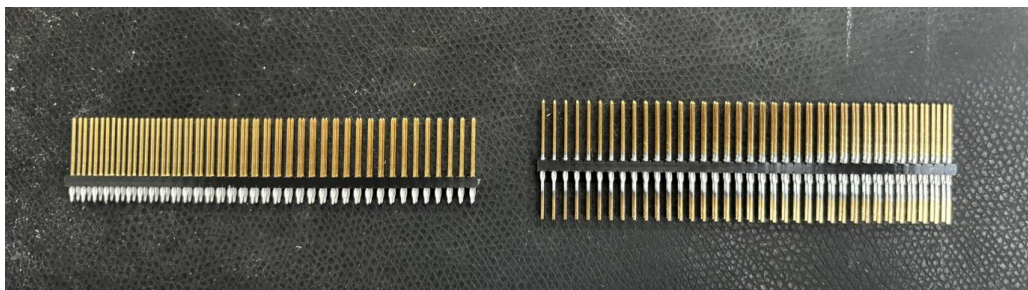
*Figura 1.31: circuito stampato nudo testata*

Su ogni CS della testata sono presenti le predisposizioni per il montaggio di 44 connettori pin strip da 72 pin (36x2 pin), ma in generale non è necessario montarli tutti, Il progettista elettronico, in base alle connessioni da trasmettere, decide quante e quali strip utilizzare e lo specifica nel documento di costruzione. L'operatore dell'officina osserva dunque tali specifiche e fissa le strip sullo stampato attraverso un montaggio alla pressa.



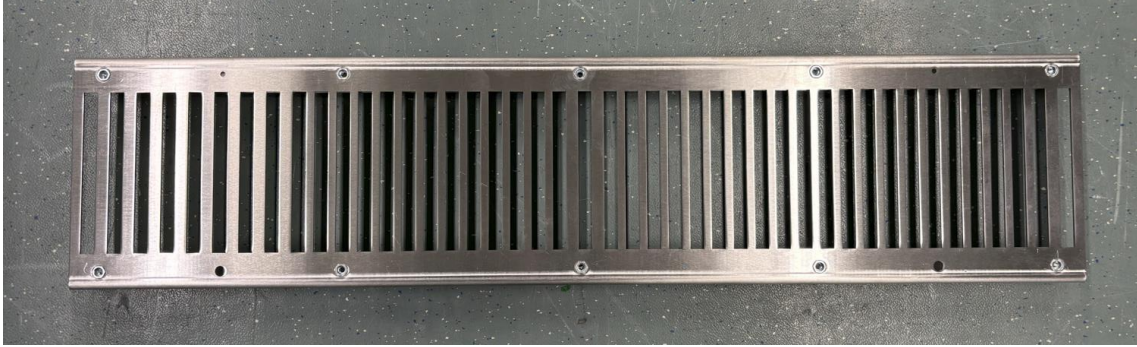
*Figura 1.32: circuito stampato testata con connettori strip montati*

Nello stesso documento è specificato se le strip da montare sono semplici oppure lunghe. Le strip lunghe sono identiche alle semplici ma hanno i pin che si estendono anche dal lato opposto dello stampato, rendendo possibile la loro contattazione in due direzioni.



*Figura 1.33: strip semplici (a sinistra), strip lunghe (a destra)*

A questo punto l'insieme di circuito stampato e connettori strip viene posizionato sullo zif holder, una lamiera piegata di acciaio inossidabile, con degli scarichi in corrispondenza dei pin dei connettori.

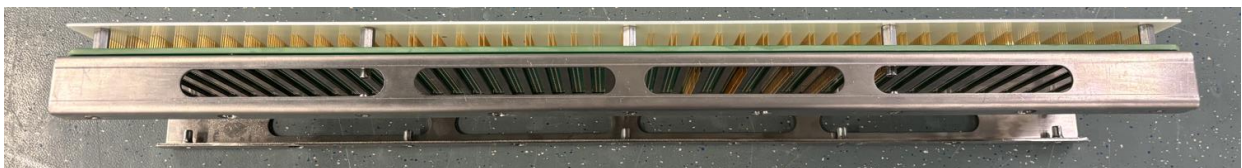


*Figura 1.34: zif holder*

Il CS viene fissato allo zif holder, che ha delle opportune sedi filettate, attraverso delle colonnine. Tali colonnine permettono, dopo aver effettuato il cablaggio, di richiudere la testata attraverso un collimatore, che lascia sporgere solo le estremità terminali dei pin e permette che essi contattino la macchina di test.



*Figura 1.35: testata montata, vista superiore*



*Figura 1.36: testata montata, vista laterale*

## **MONTAGGIO DEI PIANI MOBILI**

Il montaggio dei piani mobili avviene a partire dal piano mobile da 3. Sulla parte superiore di esso vengono piantati gli stand-off, necessari per il sostegno della scheda. Successivamente la parte inferiore di tale piano viene centrata con il piano mobile da 5 con quattro spine, necessarie anche per

centrare in seguito i piani mobili sui fissi, e fissata ad esso per mezzo di viti a testa svasata. Vengono anche fissate sul piano da 5, sporgenti verso la parte superiore, delle colonnine necessarie per riscontrare la parte top. Infine, viene inserita “pinzata” tra i due piani la vite di massa, in corrispondenza del chiodo di massa sul piano fisso, per lo scarico a terra dei piani mobili.



*Figura 1.37: piani mobili, vista superiore*



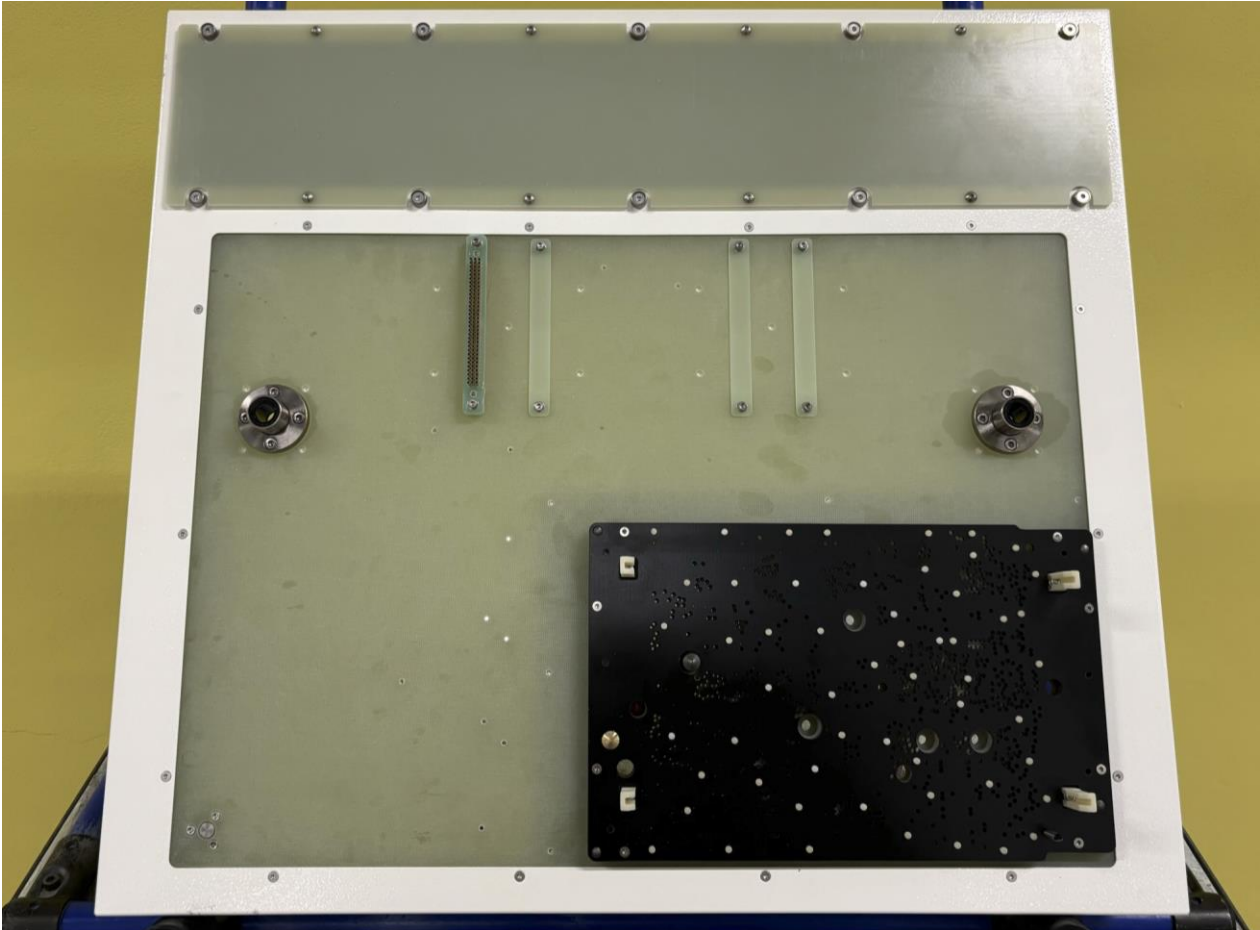
*Figura 1.38: piani mobili, vista laterale*

## **MONTAGGIO DEL BOTTOM FIXTURE**

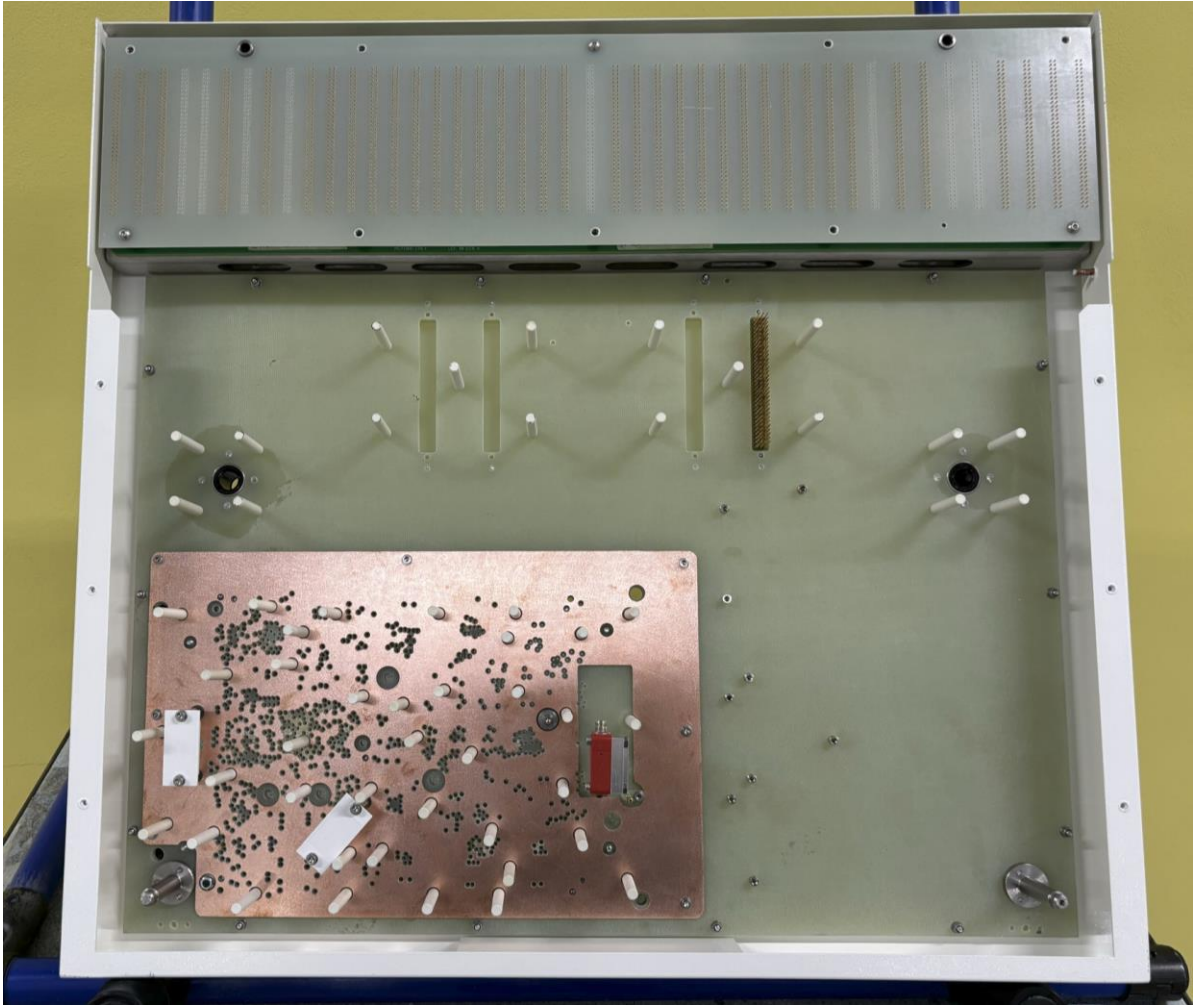
Montate le parti appena descritte il montaggio del bottom della fixture è quasi immediato. In particolare, vengono inseriti i piani mobili sui piani fissi, attraverso l’inserimento delle spine di unione dei due piani mobili nelle boccole di scorrimento del fisso 8. I piani mobili non vanno a battuta sui fissi, in quanto rimangono sostenuti dalle molle, che servono come riscontro durante la spinta sul piano mobile.

Al contempo vengono inserite le testate della fixture, fissando lo zif holder al frame, attraverso delle colonnine che costituiscono anche un riscontro per il fissaggio della testata nella macchina di test. Infine, il retro della testata è richiuso con un coperchio che viene fissato al frame.

Il bottom fixture è dunque completamente assemblato, in attesa del cablaggio.



*Figura 1.39: bottom fixture, vista anteriore*

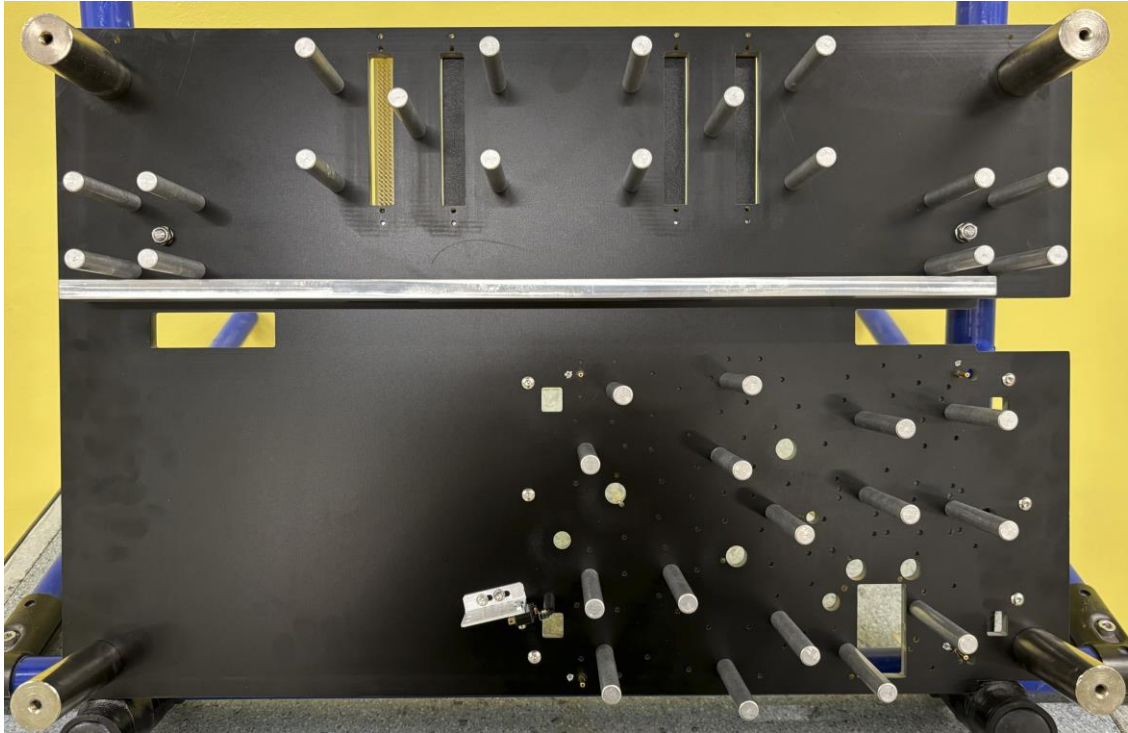


*Figura 1.40: bottom fixture, vista posteriore*

## **MONTAGGIO DEL TOP**

Il montaggio della parte top della fixture avviene a partire proprio dal piano top. Anche in questo caso è necessario partire dai componenti che richiedono un montaggio a pressione e si inseriscono dunque le boccole di scorrimento del sensore di anticollisione e i magneti che effettuano la tenuta sui quattro distanziali flottanti, che sono anche bloccati da un dado e sporgono dalla parte top della fixture. Sempre sul lato superiore del piano top è fissata una barra di irrigidimento, una serie di distanziali ciechi e il sensore di anticollisione.

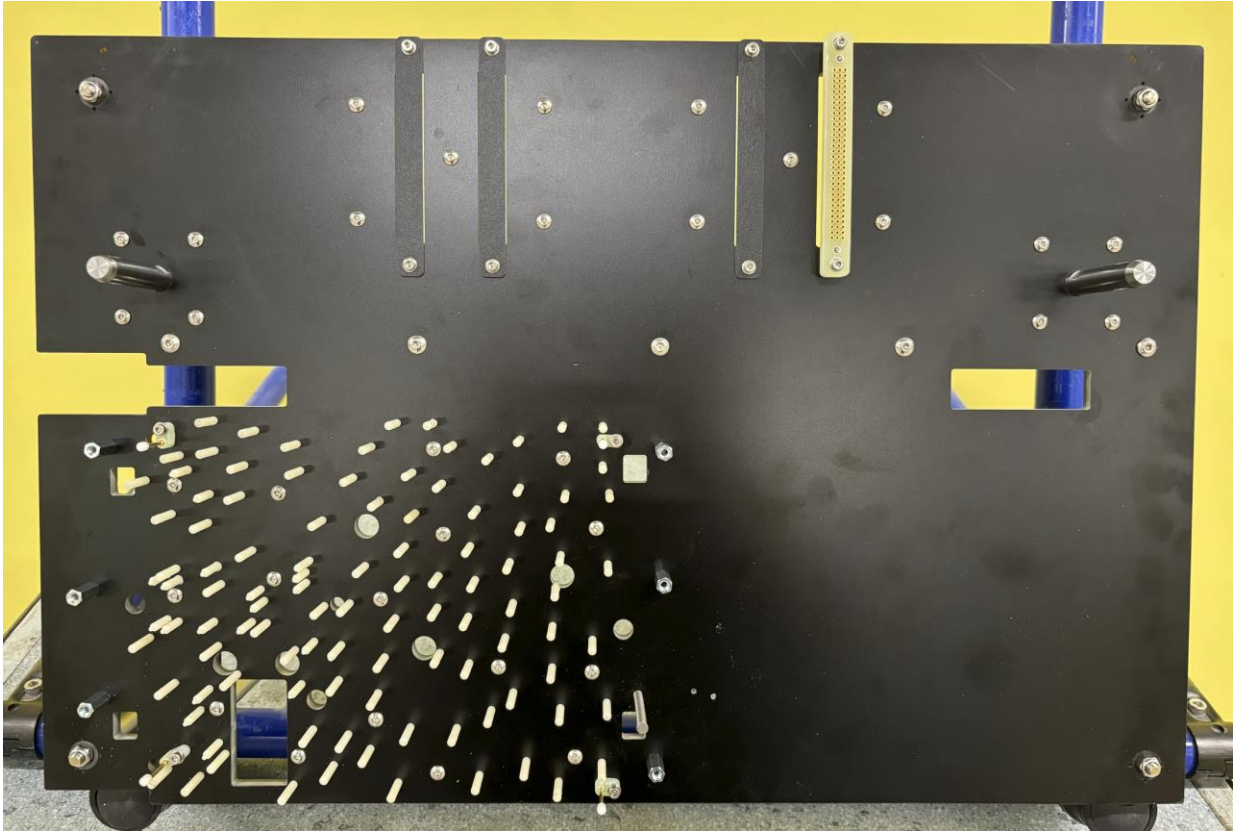




*Figura 1.41: piano top, vista superiore*

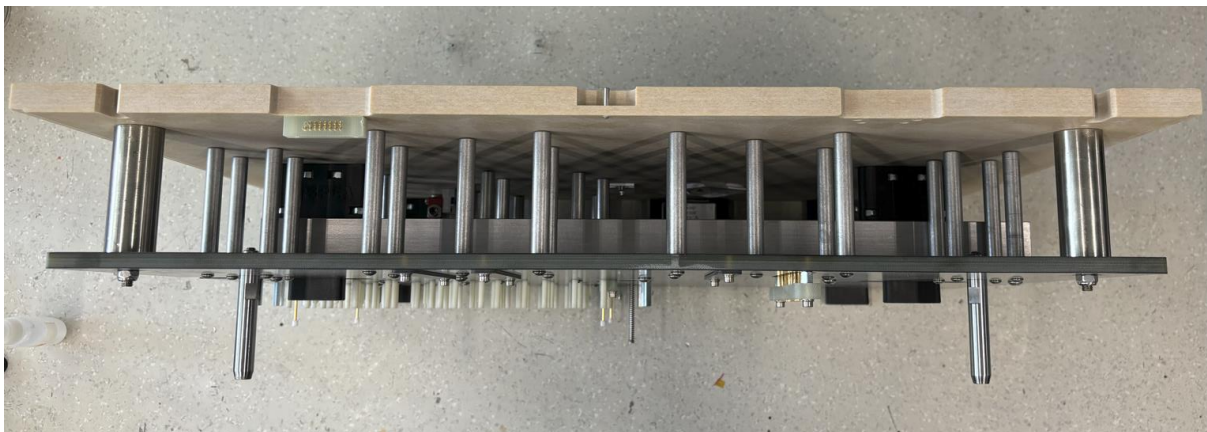
Sulla parte inferiore vengono centrati con due spine entrambi i piani puntalini (se presenti), e vengono anche fissati tra loro e con il piano top attraverso delle viti a testa cilindrica.

Sulla parte inferiore del piano top vengono inoltre fissate le colonnine, che riscontrano le corrispondenti colonnine presenti sui piani mobili; vengono fissati i rimandi e, qualora essi non siano presenti, dei coperchi di chiusura per lo scarico dei rimandi; vengono infine fissate le dita di spinta, che spingono la scheda contro i puntalini, i blocchetti chiodi spintori che effettuano la prima pre-compressione, i denti di precentraggio che centrano la scheda sulla fixture e due spine M12 che centrano il top della fixture sul bottom.



*Figura 1.42: piano top, vista inferiore*

A questo punto è possibile passare al presser plate, montando sulla sua parte inferiore le dita magnetiche, i sensori e i catadiottri e unirlo al piano top, attraverso i distanziali flottanti.



*Figura 1.43: top fixture, vista frontale*

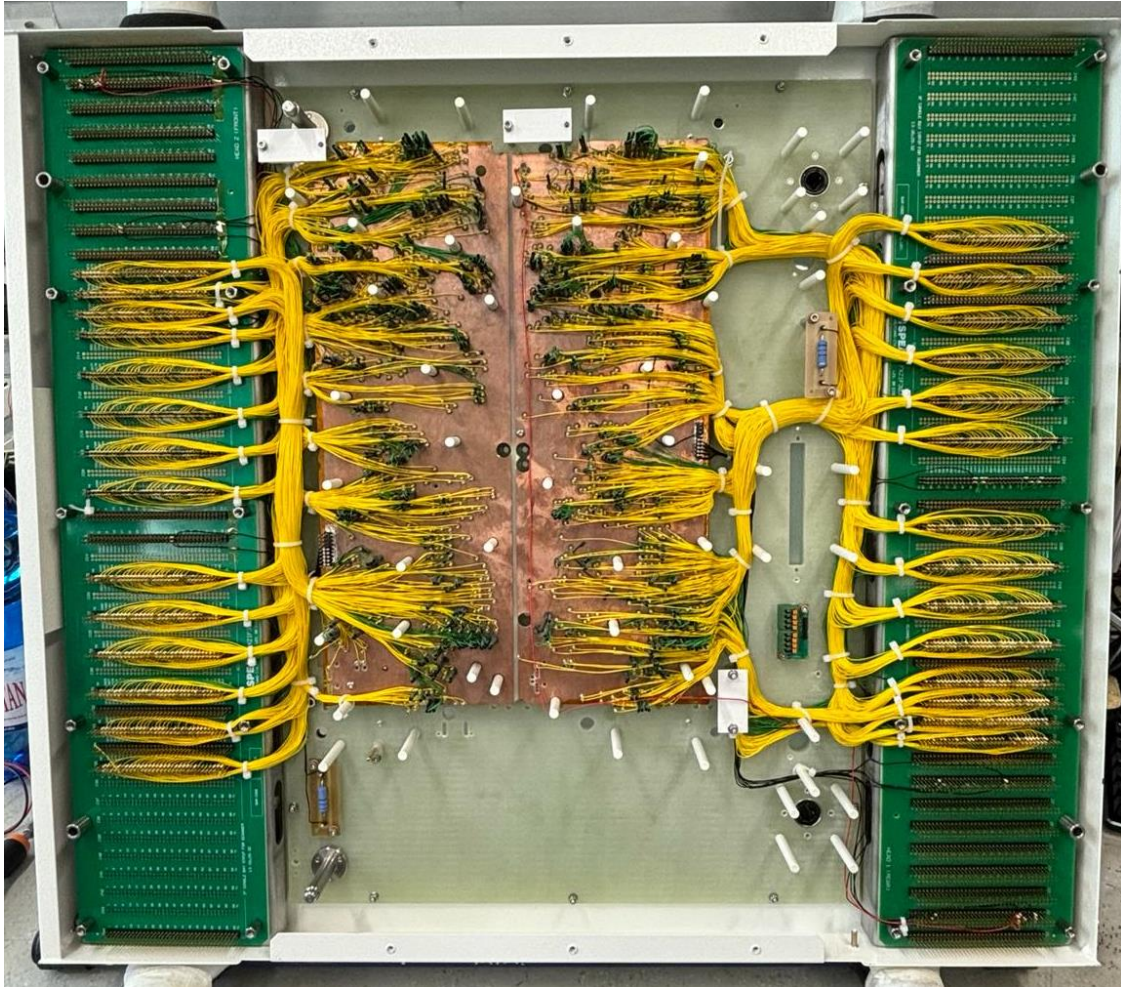
### 1.2.5. Cablaggio della fixture

Assemblata la fixture, è necessario procedere con il suo cablaggio. In questa fase deve essere collegato ogni test point (TP), attraverso dei fili, a un diverso canale della testata. Dunque, l'estremità terminale a sezione quadrata di ogni ricettacolo viene "wrappata" (che nella pratica significa cablare il filo arrotolando la sua estremità su un pin) e collegata, sempre tramite "wrap", al corrispondente canale sulla testata.

Ipotizzando che la fixture in esame abbia solo contattazione bottom, allora soltanto il bottom della fixture sarà da cablare. Come già anticipato nel capitolo 1, le tipologie di cablaggio che devono essere realizzate sono due: i cablaggi di canale e quelli di extra canale. I primi sono quelli necessari per il test ICT, ossia quelli che vengono realizzati sulla base del programma generato dal progettista elettronico. Tali test sono quelli utilizzati solo per testare la continuità tra le psite sulla scheda e il funzionamento dei componenti; pertanto, le correnti impiegate in queste tipologie di test sono relativamente basse e quindi per i collegamenti da realizzare è sufficiente utilizzare un cavo AWG28.

Gli altri collegamenti, quelli elaborati direttamente dal progettista sono quelli di extracanalale. Essi vengono indicati alle operatrici disposte al cablaggio nella documentazione e in particolare attraverso lo schema elettrico. Anche in questo caso il concetto principale è che si vuole collegare un test point a un canale della testata, ma talvolta nel collegamento può essere interposto un hardware esterno. In generale tali collegamenti, necessari per il test FCT, ossia quello dedicato a verificare il funzionamento della scheda, richiedono maggior corrente e per questo il cavo utilizzato è più spesso e in particolare si utilizza l'AWG 26.

Un esempio di fixture cablata risulta il seguente:



*Figura 1.44: fixture cablata*

Nel caso sia presente anche contattazione top sulla scheda, è necessario prevedere sulla fixture dei piani puntalini, solidali al piano top, in cui vengono piantati i ricettacoli, in cui, a loro volta, vengono inseriti i puntalini che realizzano la contattazione top. Le estremità di tali ricettacoli sporgono dunque dalla parte superiore del piano top (nello spazio tra di esso e il presser plate), dunque per cablarli alle testate, che si trovano nella parte bottom della fixture è necessario utilizzare un rimando. Un rimando è un connettore a 96 pin (32x3) maschio-femmina, che ha una unità sulla parte bottom e una unità sulla parte top. I ricettacoli della parte top vengono cablati alla parte posteriore del rimando top, mentre la parte anteriore di questo, durante la fase di discesa, si sposta verso il basso contattando la parte corrispondente del rimando con un accoppiamento maschio-femmina. La parte posteriore del rimando bottom è poi collegata ai canali della testata in accordo allo schema elettrico.

### 1.2.6. Debug della fixture

Al termine dell'attività di cablaggio la fixture è completamente realizzata e, in linea teorica, potrebbe essere collegata in linea e iniziare a lavorare. La pratica operativa suggerisce però di effettuare degli ulteriori test per individuare eventuali problemi in questa fase anziché in linea.

Il primo test è un debug meccanico e consiste nell'inserire la fixture in una macchina manuale ed effettuare delle prove di discesa per assicurarsi che il test avvenga liberamente e senza interferenze meccaniche. In una prima fase tale test è fatto con un "piano diagnostico", ossia un piano in FR4 delle stesse dimensioni e spessore della scheda, usato solamente in questa fase, per evitare che a causa di una possibile interferenza meccanica la scheda venga danneggiata. Solo in una seconda fase questo test è ripetuto utilizzando la vera e propria scheda, per assicurarsi che non ci siano conflitti tra i componenti di questa e i dispositivi posizionati sulla fixture. Durante tale test, i puntalini contattano la scheda proprio nei test point e dunque in questa fase si procede anche alla verifica del centraggio; in particolare, si pone la scheda sotto a un microscopio e si verifica che all'interno delle piazzole di test siano presenti le tracce dei puntalini. Se esse sono presenti si può dire che la fixture è centrata, in caso contrario la fixture risulta scenterata ed è necessario risolvere tale problema, modificando i dispositivi di centraggio.

In seguito al test di discesa si effettua un primo test elettrico per verificare che siano stati effettuati tutti i cablaggi richiesti. In particolare, si inserisce la parte bottom della fixture nella macchina di test, in modo che la sua testata contatti la corrispondente interfaccia sulla macchina di test, e si avvia un programma sulla macchina che richiede di contattare con un opportuno pin i diversi test point, per verificare la continuità elettrica dei cablaggi. Se un cablaggio fosse stato dimenticato oppure si fosse aperto, nel momento del contatto con l'opportuno test point la macchina lo segnala con un'indicazione a video. L'operatrice del cablaggio è così a conoscenza che tale cablaggio è da ripetere.

In seguito a tale test, necessario per verificare soltanto la continuità elettrica sulla fixture e quindi la correttezza nel cablaggio della macchina, la fixture torna al progettista elettrico che effettua l'ultimo debug elettrico. In particolare, in questa fase il progettista elettrico ha a disposizione una golden board, ossia una scheda della quale è garantito il suo funzionamento e quello di tutti i suoi componenti. Su questa scheda egli lancia il programma di test ICT. Essendo la scheda una golden board, il programma di test dovrebbe essere completamente verificato; molto spesso accade però che alcune linee del programma diano errore, a causa o della presenza di incoerenze tra il valore di un parametro (resistenza, induttanza) rilevato dal sistema e quello effettivamente presente sulla scheda. In quel caso il progettista provvede a inserire il valore corretto del parametro e salvare il programma.

Un altro problema frequente è la presenza di valori di grandezze troppo basso da misurare, paragonabile al disturbo rilevato dalla macchina. In questo caso è possibile “scablare” e “ricablare” quel collegamento facendo fare al cavo un percorso diverso in modo da diminuire la resistenza ad esso associato; qualora ciò non risolvesse il problema non è possibile migliorare la situazione e il progettista si limita ad escludere quella linea di programma dal test.

Effettuate tutte queste modifiche, il test ICT dovrebbe essere completamente verificato.

A questo punto il progettista può dedicarsi al test funzionale e al suo debug. Questo non è generato dalla macchina ma deve essere scritto direttamente da lui, in relazione alle unità che egli vuole testare sulla scheda. Egli ha a disposizione un’interfaccia di programmazione VBA con cui può definire le prove da effettuare, quali test point utilizzare per tali prove e dove prendere l’alimentazione. In questo modo egli può includere nel test anche gli eventuali hardware esterni che ha incluso nella progettazione della fixture. Durante la progettazione della fixture egli ha anche predefinito quali dovevano essere i cablaggi necessari per effettuare tale test funzionale. È possibile che in questa fase alcuni di questi cablaggi siano modificati per avere un minore impatto di interferenze che disturbano il segnale durante il test. Finiti questi aggiustamenti, il debug elettrico è stato effettuato e la fixture può essere collegata a una macchina e inserita in linea per iniziare a lavorare.

## 2. Limiti delle fixtures

Avendo osservato l'attività di progettazione e realizzazione di una fixture in ognuno dei suoi aspetti, si è notato quali fossero le criticità del processo produttivo e le ragioni della sua lunga durata; si deve considerare che dalla prima all'ultima fase una fixture impiega settimane per la sua completa realizzazione (circa 3/4 settimane). Di conseguenza, qualora ci fosse necessità di realizzare in fretta una fixture, è impossibile riuscirci prima di queste tempistiche, in quanto tutte le attività principali quali progettazione, assemblaggio, cablaggio e test sono rigorosamente sequenziali. Nell'ottica dell'automazione industriale si è cercato di analizzare il processo produttivo e si è osservato che le due attività che impiegano la maggior parte del tempo nell'intero processo sono la progettazione meccanica (1/2 settimane circa) e il cablaggio (2/3 settimane circa).

Si è osservato altresì che l'attività di progetto meccanico è difficilmente automatizzabile in quanto è un'attività customizzata per ogni scheda e necessita del pensiero critico del progettista per quanto riguarda l'adattamento alle richieste del progettista elettronico e il posizionamento dei dispositivi. Dunque, per cercare non solo di diminuire il tempo di realizzazione di una fixture, ma soprattutto per cercare di rendere il processo più automatico, ci si è accorti che era necessario intervenire sull'attività del cablaggio. Per comprendere la lunga durata dell'attività del cablaggio bisogna considerare che il tempo necessario per realizzare un singolo cablaggio è di 2 minuti e da ciò si ricava che in un'ora di lavoro si effettuano 30 cablaggi e in un giorno poco più di 200. Siccome sono numerosi i casi in cui in una fixture devono essere realizzati 2000 o più cablaggi, appare evidente che tale attività possa impiegare da sola diverse settimane, incidendo notevolmente sul tempo di realizzazione di tutta la fixture.

Oltre all'aspetto temporale, riguardante la lunga durata dell'attività di cablaggio, c'è da considerare anche la qualità di tali collegamenti. Infatti, come visibile dall'immagine in figura 1.44, i cavi vengono raccolti in dei fasci mentre vengono disposti nei diversi canali della testata. Questo posizionamento fa sì che possano nascere interferenze di natura elettromagnetica e in particolare problemi di "diafonia" che alterano la corretta trasmissione dei segnali [6]. Il disturbo nella trasmissione dei segnali è particolarmente evidente nel caso di test in frequenza, in cui tale aspetto è amplificato.

Dunque, l'obiettivo è ricercare un'alternativa all'attività di cablaggio che abbia una durata temporale minore, sia automatizzabile e porti a un risultato qualitativamente superiore, con una trasmissione più fedele dei segnali.

## 2.1. Possibile soluzione

Per rispondere alle esigenze evidenziate nella sezione precedente, è stata rispolverata l'idea di sostituire i collegamenti realizzati tramite cablaggio con un circuito stampato, che abbia delle piste che replicano gli stessi collegamenti. Tale soluzione è stata già esplorata da diversi anni, ma non è mai stata individuata una soluzione che abbia convinto completamente e che sia applicabile alla totalità delle schede elettroniche [6].

Durante questa esperienza, l'idea di base è stata realizzare un circuito stampato, la cui disposizione delle piste si basi sulla piattaforma che viene utilizzata durante il cablaggio e generi gli stessi percorsi permettendo di sostituire la maggior parte dei collegamenti (non tutti) che vengono fatti manualmente. Ciò permetterebbe di almeno dimezzare le tempistiche del cablaggio.

Il discorso che non possano essere sostituiti tutti i collegamenti, ma in genere al massimo una metà, dipende dal fatto che tali collegamenti possono essere di due tipologie: collegamenti di canale e collegamenti di extracanale. I collegamenti di canale sono quelli che si utilizzano per il test ICT ossia il test che verifica principalmente l'integrità e il funzionamento dei singoli componenti sulla scheda. Proprio questi collegamenti sono quelli che potrebbero essere sostituiti dalla scheda, in quanto si possono realizzare direttamente a partire dal software che utilizza il cablaggio.

I collegamenti di extra-canale, invece, sono quelli necessari per il test funzionale o FCT, ossia il test che verifica che la scheda nel suo insieme funzioni correttamente. Essi non sono presenti sul software di cablaggio, ma sono impostati dal progettista elettronico, che in base alle esigenze della scheda di cui deve testare il funzionamento, inserisce i collegamenti di extra-canale opportuni. Spesso è necessario anche inserire hardware esterni tra il test point e il canale da collegare. Per questi motivi tali collegamenti sono complessi da automatizzare e trattare con una scheda.

A causa di questo stretto legame con il pensiero critico del progettista elettronico, tali collegamenti sono impossibili da trattare in modo automatico e quasi impossibili da sostituire con una scheda, se non attraverso un notevole sforzo e dispendio di tempo nella realizzazione della stessa. Tale tempo sarebbe paragonabile a quello dell'attività di cablaggio, pertanto non si è cercato di trattare in modo automatico i collegamenti di extra-canale, ma soltanto quelli di canale.



## 2.2. Obiettivi della tesi

In sintesi, l'obiettivo di questa tesi in azienda è stato dunque tentare di sostituire i cablaggi effettuati manualmente con un circuito stampato. I punti fondamentali che sono stati affrontati nel raggiungimento di tale obiettivo sono stati:

- **La realizzazione della scheda.** In particolare, è necessario generare una scheda di interfaccia identica a quella in test, ma senza componenti, in modo che abbia sulla sua superficie soltanto i test point.  
Essa deve inoltre possedere delle piste coerenti con i cablaggi da realizzare, che partano dai test point e arrivino in modo ordinato a dei componenti posizionati sul bordo scheda, che possano essere collegati in modo rapido alla testata. La soluzione più efficiente per effettuare tale collegamento è sembrata posizionare sulla scheda dei connettori della stessa dimensione delle strip della testata e realizzare una serie di collegamenti 1 ad 1 con esse, utilizzando come interfaccia dei cavi flat.
- **L'interfacciamento della scheda realizzata con quella in test.** Compreso come realizzare la scheda, è stato necessario capire come farla interfacciare con la scheda in test e dunque definire la posizione relativa tra le due schede, tenendo presente che lo spazio utilizzabile all'interno del volume occupato dalla fixture è abbastanza scarso.
- **Modifiche meccaniche sulla fixture.** Realizzata dal punto di vista elettronico la scheda e deciso come farla interfacciare con la scheda in test, è necessario elaborare delle modifiche durante la progettazione della fixture, in modo che essa possa assimilare al meglio la presenza di tale scheda di interfaccia.

Nel realizzare questa scheda per sostituire il cablaggio manuale, si vorrebbe inoltre mantenere tutti gli aspetti positivi di esso ed eliminare il maggior numero di aspetti negativi.

L'aspetto del cablaggio che si vorrebbe mantenere è sicuramente la flessibilità. Lungo tutta la durata della realizzazione della fixture, è frequente che si debbano realizzare, su richiesta del cliente o del progettista elettronico o magari a causa di errori nel software, delle variazioni nel progetto. Molto spesso tali variazioni comportano il cambiamento del canale di test di un determinato TP. Di conseguenza, quando ciò si verifica, è necessario sostituire un cavo e ricablarlo in una posizione differente. Nel caso dell'inserimento di una scheda elettronica, prodotta una volta per tutte, verrebbe da pensare che tale flessibilità venga persa completamente; in realtà si è cercato di elaborare una

soluzione che garantisca la possibilità di modificare qualche collegamento, mantenendo la possibilità di cablare manualmente.

Di contro, ciò che con l'inserimento della scheda di interfaccia si punterebbe a modificare, sono le tempistiche, che si vorrebbe vedere accorciate di qualche settimana, e il livello di automazione, che si vorrebbe invece accrescere. Allo stesso tempo, recenti studi hanno evidenziato che la soluzione basata su scheda elettronica è in grado di garantire un miglior isolamento delle piste rispetto alla guaina siliconica dei cavi, permettendo una trasmissione più fedele dei segnali, eliminando le caratteristiche di diafonia, riflessione e rumore, in particolare nelle applicazioni a bassa tensione [6].

È inoltre evidente il fatto che le soluzioni "wireless" sarebbero in grado di portare a una riduzione della complessità del dispositivo, grazie al fatto che i segnali anziché con centinaia di fili sparsi, sarebbero trasportati in modo più ordinato creando anche un design più pulito e gestibile; sarebbe migliorata l'affidabilità del test, impedendo che un filo spezzato o scollegato possa segnalare falsi guasti sulla scheda; infine abbatterebbe i costi nel caso di dupliche, dove il tempo di realizzazione della fixture sarebbe ridotto al tempo del suo solo assemblaggio [6], [7].

In generale, è vero che il lavoro di generazione della scheda, unitamente al costo di realizzazione dello stampato, non lo renderebbe così tanto più conveniente del flusso di lavoro attuale dal punto di vista economico, ma si deve considerare che il lavoro di generazione della scheda possa essere effettuato parallelamente al progetto meccanico della fixture e dunque globalmente esso permetterebbe di ridurre il time to market della fixture.

### **3. Soluzione meccanica**

La sostituzione dell'attività di cablaggio con un circuito stampato prevede la realizzazione di un CS di interfaccia con determinate caratteristiche, come la posizione di piazzole corrispondenti ai TP della scheda in test e la presenza di piste che trasmettano il segnale a dei connettori posizionati sulla parte esterna della scheda, che consentano un rapido interfacciamento con la testata.

Tali caratteristiche permangono qualunque sia la soluzione meccanica definitiva della scheda di interfaccia, ma assumono declinazioni differenti in base alla zona di posizionamento di questa all'interno della fixture. Tale zona determinerà anche una differente tecnologia di interfacciamento meccanico per l'acquisizione dei segnali.

Dunque, nel progetto di questa scheda le esigenze meccaniche ed elettroniche si intersecano e ogni aspetto deve tenere in considerazione l'altro in ogni fase della progettazione.

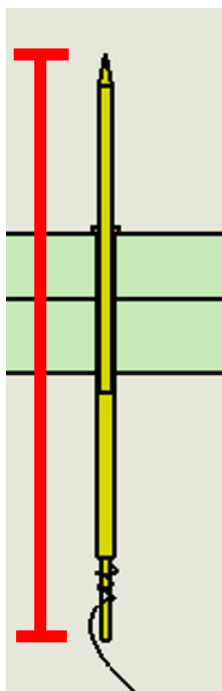
#### **3.1. Posizionamento della scheda**

La prima cosa da definire per arrivare alla generazione della scheda di interfaccia è dunque il suo posizionamento all'interno del volume della fixture. In base al posizionamento che tale scheda assumerà nella macchina ne conseguirà una soluzione meccanica differente, in quanto ogni zona della fixture presenta differenti limiti e ingombri da tenere in considerazione.

Quindi, scelto il posizionamento della scheda, conseguiranno la geometria del profilo scheda, la struttura interna dello stampato e le lavorazioni meccaniche presenti su di esso. Allo stesso modo ogni diversa soluzione meccanica scelta porterà con sé una diversa tecnologia per la trasmissione dei segnali presenti sui test point.

La scheda deve essere posizionata nella fixture in modo da ricevere i segnali dai test point e dunque, ipotizzando una contattazione solo bottom, essa va inserita nel bottom fixture. Inoltre, dovendo rilevare lo stesso segnale presente sul TP e non potendolo ovviamente contattare direttamente, il problema si sposta nel contattare il puntalino che contatta quel TP, o ancor meglio il ricettacolo che costituisce la sua sede.

La zona in cui deve essere ricercato il contatto è dunque lungo tutta la lunghezza dell'accoppiamento ricettacolo + puntalino, ossia quella rappresentata di seguito:



*Figura 3.1: zona di possibile contattazione*

Sono dunque state esplorate diverse soluzioni meccaniche lungo tale lunghezza di contattazione, prima di giungere alla soluzione definitiva.

### **3.1.1. Soluzione 1: “doppia contattazione”**

La prima cosa che verrebbe da pensare è che il modo più semplice per raccogliere il segnale dei test point non direttamente da essi sia far contattare la scheda con le estremità terminali dei ricettacoli.

Dunque, si potrebbe posizionare questa scheda sulla parte inferiore del piano fisso 8, sostenuta da colonnine, facendola aderire alle estremità terminali dei ricettacoli in corrispondenza dei test point.

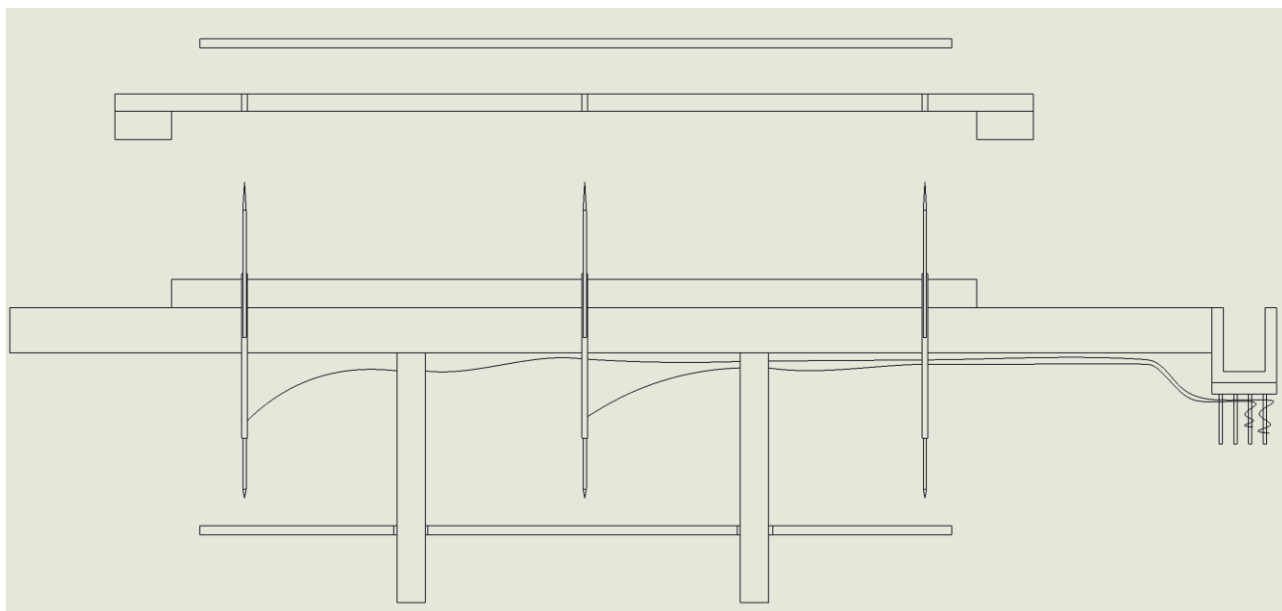
Il limite di questa soluzione è la grande differenza con il tipo di collegamento elettrico che avviene tra i TP e i puntalini, ossia che questi ultimi sono pre-caricati a molla. Di conseguenza essi contattano la scheda in test dopo una corsa di circa 3 mm e il contatto con il TP è garantito in modo stabile. Al contrario, la scheda di interfaccia posizionata sull'estremità inferiore dei ricettacoli sarebbe soltanto appoggiata; pertanto, non avendo l'estremità del ricettacolo alcuna corsa, il contatto sarebbe garantito in modo meno stabile e, inoltre, un qualsiasi (anche piccolo) disallineamento della scheda, anche considerando la non perfetta planarità dei piani in FR4, rischierebbe di farla staccare dal livello dell'estremità dei ricettacoli, non garantendo neppure la presenza del segnale.

Siccome l'idea di poter contattare il ricettacolo da quest'altra estremità è un'idea particolarmente interessante, era già esplorata in passato da qualcuno, che probabilmente si è imbattuto in questo stesso problema e, per l'esigenza di risolverlo, ha portato all'invenzione dei ricettacoli "a doppia contattazione".

Il ricettacolo a doppia contattazione è un ricettacolo la cui estremità terminale è a molla, analoga all'estremità di un puntalino; pertanto, l'accoppiamento puntalino + ricettacolo a doppia contattazione risulterà avere due estremità a molla con cui contattare i punti di test.

In questo modo la soluzione precedentemente ipotizzata si sarebbe potuta realizzare in modo abbastanza agevole, fissando la scheda di interfaccia sull'estremità a molla dei puntalini e garantendo dunque un contatto elettrico stabile ad entrambe le estremità.

Lo schema di questo tipo di soluzione è presentato di seguito:



*Figura 3.2: schema interfacciamento soluzione doppia contattazione*

Questa soluzione, o comunque una soluzione molto simile ad essa, è quella che è stata maggiormente esplorata da studi precedenti, in cui la scheda di interfaccia introdotta, viene denominata "T board" [7].

Tale soluzione presenta però dei problemi; in primo luogo, essendo già stata sperimentata, anche internamente all'azienda, sono presenti testimonianze che evidenziano il problema di ossidazione delle piazzole di test; in particolare, essendo tali punti perennemente contattati da un contatto a molla ed essendo continuamente sottoposti a sforzi causati dalla discesa del piano top, le piazzole sulla

scheda di interfaccia si deteriorano e devono essere rigenerate abbastanza di frequente. La procedura di rigenerazione prevede che tale scheda deve essere staccata dalla fixture, le piazzole devono essere rigenerate con un bagno di stagno e infine si può ricollegare la scheda alla fixture. Tale processo, essendo che deve essere effettuato anche di frequente, porta a tempi di fermo macchina non indifferenti, che non sono presenti nelle fixture cablate. Quindi, pur constatando un guadagno di tempo in fase di assemblaggio, si rischia di perdere lo stesso tempo in fase di produzione.

Il secondo problema che deriva da questa soluzione è che la presenza di un'estremità a molla, e in particolare circolare, sulla parte terminale del ricettacolo, rende impossibile il cablaggio su tale estremità, per il fatto che essa è a sezione rotonda e per il fatto che ha libertà di movimento. Essendo impossibilitato il cablaggio, si perde quella caratteristica di flessibilità che si voleva cercare di mantenere, ossia mantenere la possibilità di cablare per gestire con la scheda i collegamenti di canale per il test ICT e con dei cablaggi a mano i collegamenti di extra-canale per il test FCT.

La possibilità di mantenere i cablaggi si voleva mantenere per gestire eventuali errori o cambiamenti progettuali in corso d'opera. Si sarebbe potuto porre rimedio a quest'aspetto effettuando i collegamenti di extra-canale necessari e gestendo i cambiamenti attraverso saldatura dei fili alle borse dei ricettacoli.

L'operazione della saldatura è però decisamente più lunga di un cablaggio e, in particolare nelle fixture molto dense di contatti, è particolarmente difficoltosa e si rischia di collegare tra loro due ricettacoli creando cortocircuiti. Inoltre, sarebbe stato comunque presente il problema delle ossidazioni.

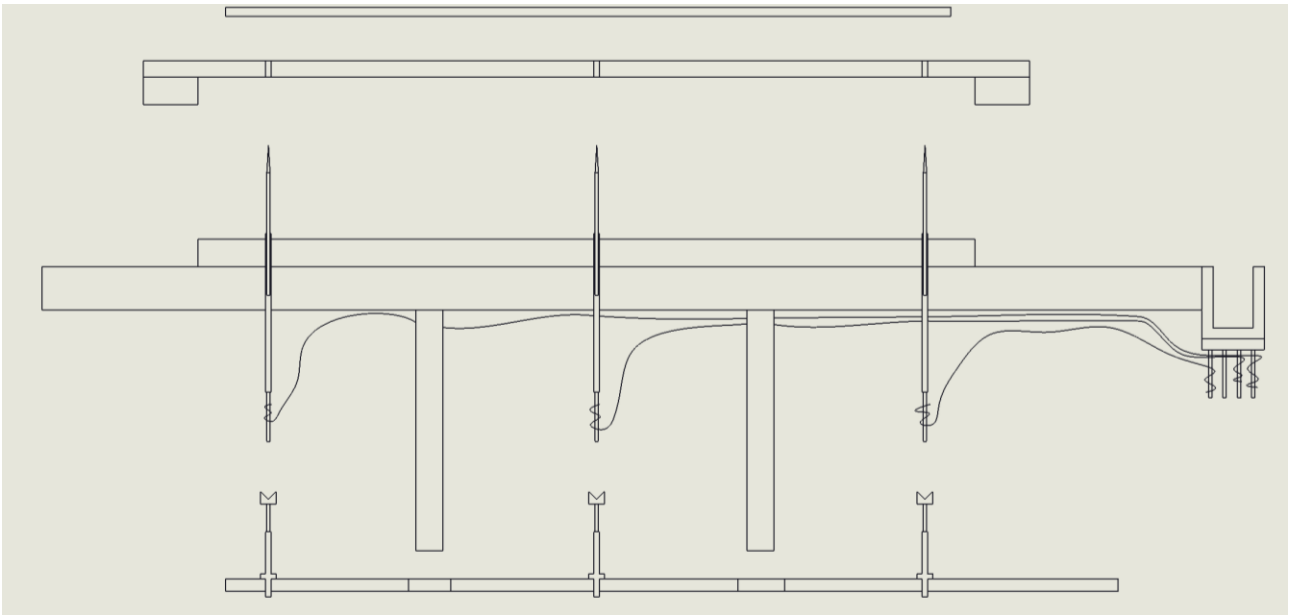
Per tutte queste controindicazioni si è deciso di non proseguire con la soluzione basata sulla doppia contattazione.

### **3.1.2. Soluzione 2: doppio chiodo**

Esclusa la prima soluzione si è provato a ricercare un'alternativa ad essa.

Osservando la tecnologia di contattazione tra la testata della fixture e la sua interfaccia sulla macchina, si è preso lo spunto per realizzare un interfacciamento del ricettacolo con la medesima tecnologia.

Si è elaborata dunque una soluzione denominata "doppio chiodo" che viene illustrata di seguito:



*Figura 3.3: schema interfacciamento soluzione doppia contattazione*

Questa soluzione prevede la collocazione della scheda di interfaccia nella medesima zona della soluzione precedente, sempre sostenuta da colonnine, ma distanziata dall'estremità inferiori dei ricettacoli di qualche centimetro. In questo gap di spazio tra la scheda e le estremità dei ricettacoli viene lasciato lo spazio per inserire, saldandoli sulla scheda, dei "pogo pin".

I pogo pin sono dei componenti molto simili ai puntalini che vengono inseriti nei ricettacoli, con la differenza che essi non hanno un'estremità fatta per essere inserita a pressione in una cavità, ma hanno un'estremità fatta per essere inserita con gioco in un foro fino a una certa profondità e poi una parte più larga, utilizzata per saldare il pin alla piazzola; i pogo pin sono inoltre dotati di un'altra estremità precaricata a molla che può avere forme differenti, esattamente come i puntalini. Per questa applicazione è stata scelta una testa concava, ossia con forma a "coppa".

Dunque, tali pogo, con estremità mobile, si interfacciano con le estremità dei ricettacoli, che sono fisse, costituendo un contatto con un certo precarico (garantito dalla presenza della molla sull'estremità del pogo) e con una buona facilità di accoppiamento (accoppiamento estremità a coppa-estremità del ricettacolo è un accoppiamento del tipo maschio-femmina).

Di conseguenza la scheda andrà prodotta con dei fori in corrispondenza delle piazzole per permettere l'inserimento del pogo pin e la sua saldatura sulla piazzola stessa. Le piste correranno poi in maniera analoga alla soluzione precedente.

I limiti di questa soluzione sono fondamentalmente tre.

Il primo limite è di natura meccanica, in quanto la parte del pogo che si appoggia sulla piazzola ha diametro ben maggiore del ricettacolo e dunque, utilizzando gli interassi abituali per definire le distanze tra i ricettacoli, si rischierebbe di ottenere interferenze durante il montaggio dei pogo. Bisognerebbe farsi dunque realizzare dei pogo custom che abbiano la sezione allargata di diametro inferiore rispetto al normale, poco più grande di quello del ricettacolo, giusto per costituire un primo appoggio ed essere poi fissati con la saldatura.

Il secondo limite è di natura economica, in quanto sarebbe necessario, oltre che la scheda di interfaccia, acquistare anche nuovi componenti, che sarebbero da realizzare custom e quindi a prezzi più alti di componenti appartenenti a linee di produzione già consolidate. Si arriverebbe dunque al punto che per collegare le 2 schede si utilizzerebbero il pogo, il ricettacolo e il puntalino, quindi 3 elementi di interfaccia anziché 2, che sulla quantità di TP su una scheda costituirebbero un aumento di costo non indifferente, che si ripercuoterebbe sul cliente.

Il terzo limite è di natura logistica in quanto i pogo sarebbero da saldare manualmente sulla scheda. Si potrebbe pensare di effettuare una saldatura a onda su tutta la scheda, ma bisognerebbe scrivere un programma ad hoc per tale saldatura, che verrebbe effettuata su una singola scheda, in quanto è questo in quantitativo di schede di interfaccia da inserire in una fixture. Scrivere un programma di saldatura per una scheda singola è logisticamente poco sensato e per questo sarebbe necessario ricorrere alla saldatura manuale. Il tempo impiegato per saldare un gran numero di pogo sulla scheda sarebbe pressoché simile al tempo impiegato in fase di cablaggio e quindi tale cambiamento non costituirebbe una particolare miglioria.

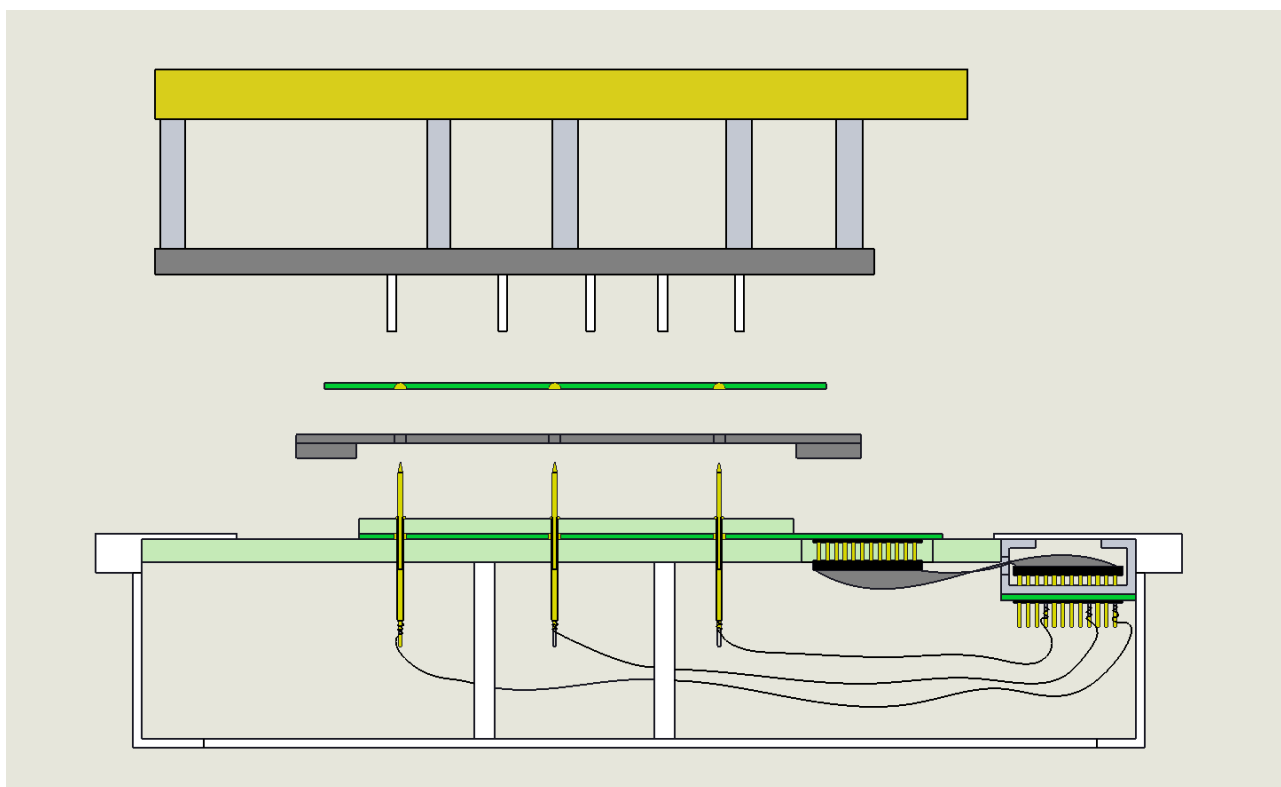
### **3.1.3. Soluzione scelta: press-fit**

Essendo che le prime due alternative sembravano avere più lati negativi che positivi, si è cercato di elaborare una terza alternativa. Osservando la struttura di alcuni connettori montati a pressione sui circuiti stampati, che sfruttavano la tecnologia press-fit, si è pensato di utilizzare la stessa metodologia per mettere in contatto la scheda di interfaccia con i ricettacoli.

Dunque, la soluzione meccanica prevederebbe di posizionare questa scheda in una sezione facente parte della lunghezza di piantaggio dei ricettacoli e praticare dei fori metallizzati calibrati su di essa, in modo tale che il contatto elettrico sia scambiato tra la circonferenza del ricettacolo e la metallizzazione del foro e sia poi portato attraverso una net a un connettore in una zona laterale della scheda.



Di seguito si presenta una schematizzazione della soluzione:



*Figura 3.4: schema interfacciamento soluzione press-fit*

In particolare, si è osservato che la collocazione migliore della scheda nella lunghezza di piantaggio del ricettacolo, è tra piano fisso 8 e piano fisso 5, in quanto su questa altezza del ricettacolo è presente una bombatura che permette una maggiore deformazione per garantire il contatto. Inoltre, ciò permette di mantenere una struttura molto simile a quella originale, senza sconvolgimenti nelle lavorazioni.

Sicuramente gli aspetti positivi di questa soluzione sono il fatto che essa non richiede l'acquisto di nuovi componenti eccetto lo stampato e di conseguenza non aggiunge ulteriori tempistiche di assemblaggio oltre alla produzione della scheda; tale soluzione risponde inoltre al requisito della flessibilità, lasciando le estremità dei ricettacoli completamente libere per permettere il cablaggio dell'extra canale e per poter eventualmente gestire errori o cambiamenti in fase di progetto.

Per realizzare una soluzione meccanica di questo tipo sarà necessario produrre una scheda con delle piazzole forate, per permettere la contattazione dei ricettacoli sul diametro. Tali fori dovranno essere calibrati e corrispondenti alla dimensione di foratura su FR4; un foro troppo piccolo spezzerebbe il ricettacolo, mentre un foro troppo grande non garantirebbe il contatto.

Allo stesso modo delle soluzioni precedenti, i segnali provenienti dalla piazzola saranno portati verso una zona esterna della scheda dove sarà presente un connettore che permette l'interfacciamento con la testata.

I due possibili problemi che sarebbero potuti sorgere in questa situazione sono in primis che, per la particolare collocazione della scheda, lo spazio a disposizione per il posizionamento dei connettori è parecchio ristretto e, in particolare in fixture dual stage, ricche di rimandi e hardware esterni, risulta difficoltoso imbastire questa soluzione.

Il secondo problema è che la zona riservata alla piazzola metallizzata è in generale più grande del diametro del ricettacolo e si ripresenta un problema simile a quello della presenza della base di appoggio dei pogo, anche se in modo meno pronunciato. Si consideri che aumenta di circa il 20% la misura del diametro del foro e, di conseguenza, gli interassi utilizzati come standard rischiano di creare interferenze. Per risolvere questo secondo problema è sufficiente rivedere gli interassi utilizzati nel posizionamento dei ricettacoli e, in caso ci si avvicini a una soluzione limite, sostituire un ricettacolo con uno di taglia inferiore. In questo modo la piazzola sarà più piccola e l'isolamento elettronico minimo sarà garantito.

Per il problema del posizionamento dei connettori bisogna invece accettare il fatto che non sempre sarà possibile procedere con questa soluzione.

Nonostante quest'ultimo aspetto è sembrata la soluzione più praticabile, con meno costi e meno controindicazioni, e si è deciso di proseguire con questa.

## **3.2. Struttura meccanica della scheda**

A partire dal posizionamento scelto della scheda, si è proceduto a realizzare una nuova soluzione meccanica del sistema fixture e dunque della struttura meccanica della scheda.

### **SPESSORE SCHEDA**

La prima cosa da definire è stato lo spessore della scheda. Dovendo disporre i connettori su una superficie più ampia possibile è stato chiaro che si sarebbe dovuto sfruttare tutto lo spazio possibile sul piano fisso 8. Su parte di questa zona scorre però il nastro trasportatore che trasporta le schede in test sulla linea ed è rialzato rispetto al piano fisso 8 di 1.5 mm.

A causa di ciò non si è potuto realizzare uno stampato dello spessore tradizionale (1.6 mm), ma, per evitare interferenze meccaniche, si è scelto di utilizzare un CS di 1 mm.

## **PROFILO SCHEDA**

Definito lo spessore, si può passare ad analizzare il piano frontale e definire il profilo scheda.

Il profilo della scheda deve essere tracciato in accordo con gli ingombri presenti in quella parte della fixture. La prima idea sarebbe tracciare un profilo quasi sovrapposto al pannello delle schede, essendo che ogni test point deve trovare il suo corrispondente esattamente sulla verticale. Si osserva però che il pannello è più esteso rispetto agli spazi presenti tra il piano fisso 8 e il piano fisso 5, pertanto bisogna tracciare manualmente il profilo, tenendo conto di questo fattore.

A causa del fatto che la scheda deve coprire talvolta l'area anche di due stage di pannelli, oltre allo spazio necessario per il posizionamento dei connettori, si comprende che essa possa talvolta avere superfici molto ampie e profili di lunghezze importanti. Tali lunghezze devono però rispettare le norme realizzative degli stampati e le esigenze dei fornitori, che in molti casi richiedono CS di dimensioni inferiori rispetto ai 500 mm di lato. Questa è un'esigenza di cui si deve tener conto in fase di tracciamento del profilo, assicurandosi che il profilo tracciato non oltrepassi tale valore.

## **SCARICHI INTERNI**

Anche gli scarichi interni della scheda vanno progettati e inseriti su di essa in accordo col progetto meccanico della fixture. In particolare, essendo che la scheda si posiziona tra il piano fisso 5 e il piano fisso 8 essa avrà i medesimi scarichi presenti su entrambi i piani.

Oltre a queste lavorazioni, necessarie soltanto per non creare interferenze meccaniche e garantire il funzionamento fisiologico della fixture, è stato necessario praticare sulla scheda due fori per due spine, per il suo centraggio col piano fisso 8 e una serie di fori per permettere il suo fissaggio su di esso.

## **FORI METALLIZZATI**

Questa scheda deve ricevere i segnali elettronici dalla circonferenza dei ricettacoli attraverso i fori metallizzati presenti su di essa e posizionati in corrispondenza dei TP, ma su una quota diversa.

Per la trasmissione dei segnali con metodo press-fit è inoltre necessario che il rivestimento sia in oro chimico. Dunque, per realizzare i fori di una determinata dimensione sulla scheda è necessario forare su un diametro più grande, poi applicare un piccolo strato di nichel e poi un piccolissimo strato di oro in modo da avvicinarsi al diametro richiesto.

Tali fori rimangono con una tolleranza di  $\pm 0.05$  mm rispetto al diametro richiesto.

## **CONNETTORI**

Come si è spiegato nei paragrafi precedenti, la superficie della scheda è tracciata in modo tale da possedere su una sua parte i fori metallizzati per interfacciarsi con i ricettacoli e su un'altra parte possiede i connettori che permettono l'interfacciamento con la testata.

Come connettori si è scelto di utilizzare una serie di connettori strip 32x2 in modo tale da avere una corrispondenza connettore-connettore tra la scheda di interfaccia e la testata. Il collegamento tra i due connettori è stato previsto tramite cavo flat e connettori femmina.

Tali connettori sono posizionati non a caso sulla scheda, ma in modo da essere più vicini possibile alla testata a cui si devono collegare.

A questo punto è stato necessario decidere se far sporgere i connettori dalla parte top o dalla parte bottom del piano fisso 8, posizionandoli o sulla parte top o sulla parte bottom della scheda. Siccome farli sporgere dalla parte top avrebbe significato collegarli alla parte anteriore della testata, impedendo quindi che tale estremità rimanesse libera per contattare la macchina di test, si è deciso di farli sporgere dal lato bottom.

L'ultima cosa che rimane da definire per il posizionamento dei connettori sulla scheda di interfaccia è la posizione del pin 1. Tale posizionamento è più importante di quello che potrebbe sembrare, in quanto la posizione relativa tra il pin 1 del connettore sulla scheda e il pin 1 della corrispondente strip sulla testata determina il tipo di piegatura da dare al cavo flat. Tale piegatura costituisce un aspetto rilevante per quanto riguarda gli ingombri, poiché in questa zona gli spazi sono abbastanza stretti; orientare il modo oculato i connettori permette di minimizzare il numero di pieghe da effettuare sul cavo flat e dunque a minimizzare gli spazi occupati.

### **3.3. Modifiche meccaniche alla fixture**

Nella scelta del tipo di interfacciamento press-fit tra scheda di interfaccia e ricettacoli, è inevitabile dover operare delle modifiche alla tradizionale struttura della fixture, in modo da ospitare la scheda di interfaccia senza causare interferenze meccaniche.

Il lato positivo è che la soluzione scelta non stravolge la struttura delle fixture, pertanto tali modifiche sono abbastanza limitate.

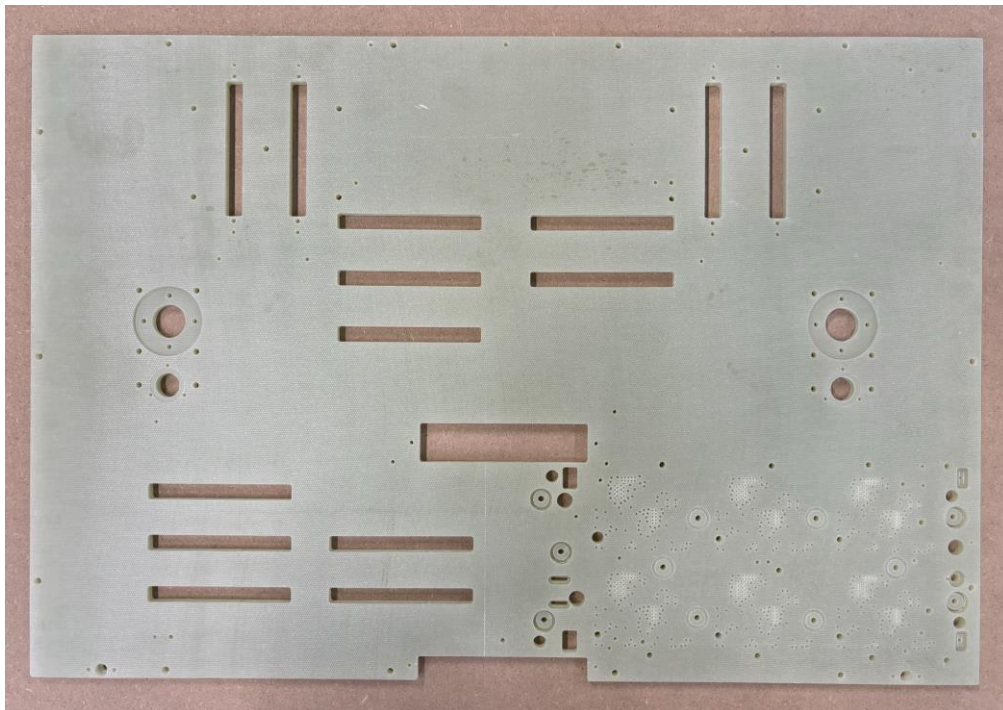
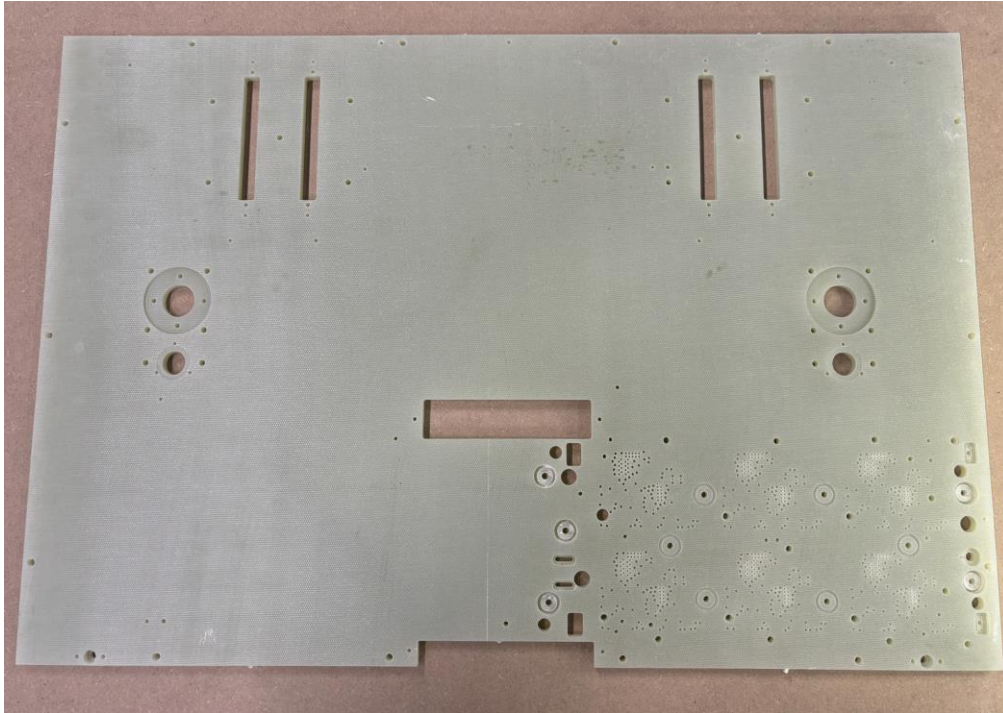
#### **MODIFICHE SPESSORI**

Utilizzando uno stampato dello spessore di 1 mm, che si svilupperebbe su tutta la superficie del piano fisso 8, è necessario rivedere gli spessori di altri piani. In particolare, per mantenere la medesima quota di contattazione è stato necessario abbassare di un millimetro lo spessore del piano fisso 5 e farlo diventare un piano fisso 4. In conseguenza di ciò, anche il piano mobile 5, che si andava a incastrare in corrispondenza di esso, è stato da modificare facendolo diventare un piano mobile 4. Per mantenere infine la stessa quota relativa tra piano mobile 4 e piano fisso 4 è stato necessario realizzare le sedi molla esterne 1mm meno profonde, avendo le molle altezza costante.

#### **MODIFICHE PIANO FISSO 8**

Avendo scelto di far sporgere i connettori sul lato bottom della fixture, è stato necessario scaricare il piano fisso 8 per permettere il loro passaggio. Oltre a ciò, è necessario applicare su di esso dei fori spina e dei fori per il fissaggio con la scheda di interfaccia stessa.

Di seguito si presenta la modifica effettuata:



*Figura 3.5: piano fisso 8 prima (sopra) e dopo (sotto) le modifiche*

## MODIFICHE ZIF HOLDER

Come è possibile osservare dalla figura 3.4, la tecnologia di interfacciamento prevede di collegare i connettori presenti sulla scheda, sul lato posteriore delle strip della testata (grazie all'utilizzo di strip lunghe), passando attraverso la parte laterale dello zif holder. Esso possiede sulla parte laterale delle asole, dalle quali tradizionalmente si fanno passare i fili, ma non sono abbastanza grandi per permettere il passaggio del connettore femmina da 64 pin.

Di conseguenza è stato necessario unire ogni coppia di asole per creare delle asole di dimensione maggiore, in modo da permettere il passaggio del connettore.

Di seguito si presenta la modifica effettuata:



*Figura 3.6 zif holder normale (sopra), zif holder modificato (sotto)*

## 4. Generazione scheda elettronica

Una scheda elettronica è composta in genere da una serie di strati sovrapposti (layer) di rame e materiale isolante pressati tra loro a caldo. Il numero di strati dipende dalla complessità e dal numero di connessioni della scheda che si vuole realizzare.

Il progetto elettronico avviene in maniera analoga al progetto meccanico, utilizzando un software CAD di tipo elettrico; in particolare in questa attività il software utilizzato è stato PAD pro. Con il SW CAD elettrico è possibile progettare i diversi strati (layer) della scheda, inserendo componenti, test point e connettori e collegandoli tra loro con opportune piste lungo lo stesso layer o su layer sovrapposti. Il passaggio da un layer a un altro avviene con dei micro-fori realizzati attraverso laser, denominati “vias”.

L'attività di progettazione elettronica inizia tracciando il profilo della scheda, che in genere è determinato da esigenze meccaniche o, in alternativa, scelto dal progettista elettronico.

A questo punto è necessario scegliere la strategia di progettazione, che può essere attraverso schema elettrico o in flusso net.

Per la progettazione con schema elettrico, è necessario ricreare lo schema elaborato dal progettista elettronico nell'ambiente CAD di PAD Pro, seguendo la documentazione in merito ai collegamenti e posizionando i componenti in accordo con gli ingombri della scheda. Il progettista deve quindi inserire manualmente i componenti necessari al funzionamento della scheda, scegliendoli da una libreria a sua disposizione e deve posizionarli nella maniera più idonea. Allo stesso modo deve inserire i TP e orientare le piste di collegamento tra i componenti in modo più opportuno. In genere questa è la strategia di gran lunga più utilizzata, in quanto, essendo le schede elettroniche dei componenti molto delicati, non lascia nulla al caso, ma richiede il pensiero critico del progettista in ogni scelta.

Il flusso net è invece un modo molto più schematico di lavorare, che prevede di fornire al programma, attraverso file di testo, la lista di componenti da inserire, le coordinate di questi e i collegamenti tra di loro. Per questa attività, dovendo cercare di creare un flusso di lavoro automatizzato, questa strategia di progettazione si è adattata benissimo.

L'idea su cui si è lavorato è che, avendo a disposizione la posizione dei TP di una scheda, essi possano essere riportati su un'altra scheda in modo quasi automatico. Inoltre, grazie all'imposizione di



determinate net-list, tali TP possono essere riportati in una determinata posizione della scheda e portati all'esterno di essa, per esempio attraverso un connettore.

La progettazione con flusso net, in dettaglio, si articola in 4 fasi, che sono le seguenti:

- generazione del profilo;
- importazione file componenti;
- importazione file net-list;
- sbroglio.

Di seguito saranno analizzate nel dettaglio queste fasi.

#### **4.1. Profilo scheda**

Per realizzare il circuito stampato di interfaccia, in primis è necessario avere a disposizione il profilo dello stampato che si vuole realizzare. Tale profilo è tracciato in fase di progetto meccanico, in accordo con i limiti costruttivi e con gli ingombri della fixture, come esposto nella sezione 3.2. Parallelamente a questa attività il progettista meccanico inserisce sulla superficie della scheda eventuali fori di scarico o di montaggio.

Anche se non è lui ad occuparsi del progetto elettronico della scheda, in questa fase il progettista meccanico è l'unico che ha la visione degli ingombri della fixture, pertanto a lui spetta il compito di posizionare anche la traccia dei connettori sullo spazio libero del piano fisso 8. Tali connettori non vanno soltanto posizionati sullo spazio libero, ma dovrebbero essere collocati il più vicino possibile alla testata con cui devono interfacciarsi e, se possibile, in prossimità delle aperture presenti sullo zif holder.

Il numero di connettori da posizionare e la testata a cui devono congiungersi sono informazioni che sono visualizzabili dal software utilizzato per effettuare i collegamenti tra test point e canali della testata (ed è il medesimo software che lo stesso progettista meccanico utilizza per effettuare l'analisi di deformazione).

Posizionate le tracce dei connettori è poi necessario assegnare a ogni traccia un preciso connettore. Tale assegnazione non può essere fatta casualmente in quanto una scelta sbagliata può causare problematiche in fase di cablaggio dei flat. È necessario dunque effettuare tale assegnazione in accordo con le operaie disposte al cablaggio. In linea di massima le regole utilizzate per tale assegnazione sono: disposizione dei connettori in formato tabellare (su righe e colonne parallele),

inserimento della numerazione ordinata, disposizione dei connettori che si interfacciano con le parti esterne della testata posizionati verso l'interno fixture.

L'ultima cosa relativa al posizionamento dei connettori che compete al progettista meccanico è il posizionamento del pin 1 del connettore. Anche tale aspetto sarebbe da valutare eventualmente con le operaie in cablaggio. Utilizzando un connettore strip abbinato a un cavo flat ci sono due possibili posizionamenti del connettore (alto sx o basso dx), che posizionati sulla fixture sulla traccia del connettore risultano uno sul lato testata e uno sul lato interno. Dalla pratica realizzativa è emerso che la soluzione migliore è posizionare il pin 1 in modo che il baricentro del connettore risulti compreso tra il pin 1 e il baricentro della strip a cui cablare il connettore.

Le tracce dei connettori, la loro corrispondente numerazione e la segnalazione del pin 1 vengono indicati dal progettista meccanico nel file .dxf che viene passato al progettista elettronico. Egli non ha problemi ad aprirlo con PAD Pro e importare il profilo scheda.

Tale file è il primo dei tre file necessari per la generazione della scheda ed è il più lungo da realizzare; le tempistiche per la sua realizzazione possono essere stimate in circa 30 minuti.

## **4.2. Posizione punti di test**

Il secondo file che PAD pro è in grado di accettare è un file .emn, attraverso il quale può essere passata la lista di componenti da inserire unitamente al posizionamento degli stessi sulla scheda.

Tale file è un file di testo con una formattazione ben definita che deve possedere un'intestazione standard e successivamente la lista di tutti i componenti, connettori e test point presenti sulla scheda. Per ognuno di essi è necessario indicare il part number (ossia il nome di libreria), il footprint (ossia la specifica configurazione di quel componente), la posizione sulle x, sulle y e sulle z, l'eventuale inclinazione in gradi e il posizionamento sul lato top o bottom della scheda.

Quindi l'obiettivo sarebbe, avendo a disposizione le posizioni dei test point sulla scheda da collaudare, elaborare un tool automatico in grado di copiare tali posizioni e posizionarle sulla scheda di interfaccia come dei fori metallizzati, coi quali realizzare l'interfacciamento press-fit.

Oltre ai fori metallizzati, gli unici altri componenti da posizionare sono i connettori. Ovviamente le loro posizioni non sono disponibili su alcun documento in quanto sono stati posizionati in fase di progetto meccanico. Chiedere al progettista meccanico di misurare le quote dei baricentri di ogni connettore e inserirle nel file di testo sarebbe un processo lungo, rischioso (sarebbe facile incorrere

in errori di trascrizione) e in antitesi con il processo semi-automatico che si vuole ottenere. Proprio per rispondere a questa esigenza il progettista meccanico disegna sul .dxf le tracce dei connettori e il progettista elettronico deve soltanto trascinare i connettori all'interno di tali tracce, nel verso indicato sempre dal progettista meccanico, che ha indicato la posizione del pin 1.

A questo punto, ci si è accorti che risultava più pratico acquisire i dati non dai file Gerber, ma dal software che indica i cablaggi da effettuare, e che richiede come input proprio i file Gerber. In tale programma per ogni pannello di schede da testare è disponibile un file in formato foglio di calcolo che possiede un elenco con il nome, la dimensione e la posizione di ogni test point.

È stato quindi necessario elaborare i dati disponibili per ottenere il file .emn in una formattazione leggibile da PAD Pro, attraverso un processo di conversione che sarà analizzato nei capitoli successivi (capitolo 4.4).

### **4.3. Net-list**

Il terzo file che PAD pro è in grado di accettare è un file .kyn, attraverso il quale viene passata la net-list che elenca tutti i collegamenti che devono essere effettuati tra le diverse entità presenti sulla scheda, con le piste in rame.

Anche questo file è un file di testo, con una formattazione ben definita, che deve possedere un'intestazione, l'elenco dei collegamenti da realizzare (net-list) e infine la descrizione della tipologia dei componenti collegati attraverso la net-list.

In questo modo, posizionati i TP attraverso il file .emn e i connettori manualmente dal progettista elettronico, è possibile importare il file .kyn su PAD Pro che definisce i diversi collegamenti tra i fori metallizzati (che si interfacciano col ricettacolo) e pin dei connettori (che vengono riportati in testata col cavo flat).

A questo punto è fondamentale comprendere il criterio di collegamento dei diversi test point ai diversi pin dei connettori e per farlo è necessario utilizzare proprio il software che detta le connessioni da effettuare coi cablaggi. Tale software (che è quello che fornisce anche coordinate, dimensioni e nome dei TP) presenta un elenco con il nome del TP e il numero di canale della testata a cui tale TP è assegnato. Nel flusso di lavoro attuale, l'operaia cabla il filo all'estremità del ricettacolo posizionato in corrispondenza dei test point e al canale della testata corrispondente.

L'idea è che, utilizzando connettori flat che eseguono una connessione 1 a 1 tra strip della testata e connettore sulla scheda, è necessario immaginare ogni connettore sulla scheda come se fosse direttamente la strip della testata, riportata sulla scheda. Pertanto, è necessario comprendere quante strip della testata sono da utilizzare e posizionare lo stesso numero di connettori sulla scheda; successivamente è necessario effettuare un'associazione tra connettore sulla scheda e strip della testata (ad esempio il connettore 1 sulla scheda corrisponderà alla prima strip utilizzata sulla testata e così via). A questo punto i connettori sulla scheda assumono la stessa logica di numerazione della testata e i collegamenti da effettuare risultano ovvi.

L'unica differenza è che la numerazione dei pin dei canali sulle strip della testata è cumulativa, mentre la numerazione dei pin dei connettori riparte da capo per ogni connettore. Di conseguenza, per effettuare l'assegnazione, è necessario dividere il numero del canale per il numero del connettore a cui lo si vuole collegare: il divisore sarà il connettore da utilizzare, mentre il resto della divisione sarà il pin assegnato.

L'operazione appena descritta non è ovviamente da fare manualmente, ma è stato elaborato uno script che esegue questa funzione in modo automatico e produce in output direttamente i collegamenti ai pin dei connettori.

Il file reso disponibile dal software di cablaggio è nuovamente un file in formato foglio di calcolo che possiede quindi l'elenco dei TP e i corrispondenti canali della testata a cui vanno collegati. Compresa questa assegnazione tra canali della testata e connettori, è necessario utilizzare gli script per la generazione delle connessioni sui connettori e, successivamente, per ottenere il file di testo .kyn in una formattazione leggibile dal software di progettazione elettronica, si sono elaborati i dati con il processo di conversione che si analizzerà nel capitolo successivo.

#### **4.4. Processo di conversione**

Il punto di partenza di questa procedura erano i due file Excel estratti dal tool di cablaggio; il primo file contiene nomi, posizioni e dimensioni dei test point, mentre il secondo contiene la numerazione dei test point e i loro collegamenti con i canali della testata. In realtà, è stato anche possibile ottenere dal software un file unito, contenente contemporaneamente le informazioni di entrambi i file precedenti, ossia il nome dei TP, la loro posizione, la loro dimensione e il canale testata a cui devono essere collegati. Sarà questo il file sorgente utilizzato per l'elaborazione dei dati.

L'obiettivo della conversione era ottenere due file di testo (uno in formato .emn e l'altro in formato .kyn), il primo contenente le posizioni dei test point da replicare sulla nuova scheda di interfaccia e il secondo contenente le net-list di collegamento tra tali TP e i pin dei connettori sulla scheda, disposti coerentemente ai canali della testata.

La procedura di conversione ha previsto la creazione di una cartella in cui viene importato il file sorgente (Excel) estratto e in cui sono presenti uno script Python, un file Excel ausiliario vuoto, in cui sono però implementate una serie di macro.

Dunque, dopo aver inserito il file sorgente nella cartella, è necessario aprire lo script Python e lanciarlo. Esso, in primo luogo, eliminerà tutto ciò che è presente nel file Excel ausiliario e successivamente copierà in esso i dati presenti nel file sorgente. A questo punto verranno richiesti all'utente cinque dati di input che sono: il lato della scheda in test per cui si vuole realizzare la scheda di interfaccia, le dimensioni (x e y) della scheda, e gli offset (in x e in y) tra il sistema di riferimento utilizzato sulla scheda di interfaccia e quello presente sul software di cablaggio. In caso di dati mancanti nel file sorgente il programma potrebbe richiedere informazioni ulteriori a completamento dei dati disponibili.

Inseriti i dati di input richiesti (tempo di inserimento stimato in 1 minuto circa), il programma Python attiverà le opportune Macro presenti sul file Excel, che elaboreranno i dati in modo tale da tenere solo quelli strettamente necessari e porli in una formattazione opportuna. Successivamente il programma Python esporterà tali dati in due diversi file di testo, apporterà nuovamente alcune modifiche di formato e li convertirà nelle estensioni corrette.

In questo modo nella stessa cartella saranno generati i file netlist.kyn e posizioni.emn, leggibili dal software di progettazione elettrica.

Per avere ulteriori dettagli sugli script implementati su Python e sulle macro Excel (linguaggio VBA), si faccia riferimento all'allegato 1.

## **4.5. Sbroglio della scheda**

Posizionati i diversi componenti sulla scheda e capito come interconnetterli grazie alle net-list importate, è necessario tracciare materialmente le piste di rame per ogni net-list. Tale attività prende

il nome di “sbroglio” e in genere è la parte più onerosa in termini di tempo durante l’attività di progettazione di una scheda elettronica.

Tale attività di norma è eseguita da dei progettisti elettronici specializzati in questa attività, che traducono lo schema elettrico sviluppato da altri progettisti elettronici, posizionando sulla scheda i componenti e tracciando le varie piste con dei criteri dettati dalla loro esperienza e dalle linee guida di progettazione dei PCB. Queste norme impongono principalmente limiti nella dimensione delle piste, nell’isolamento tra di esse, e nelle distanze da mantenere tra piste e componenti, scarichi, profilo e altre entità. Inoltre, è la loro esperienza che li aiuta nel far percorrere alle piste determinati percorsi rispetto che altri.

Questa attività viene svolta manualmente e se si pensa che ogni scheda ha al minimo qualche centinaio di net ed è articolata in diversi layer, è facile pensare come ci possano volere giorni a sbrogliare una scheda. Pertanto, per evitare di sostituire il cablaggio con un’attività altrettanto lunga, si è deciso di sperimentare lo strumento detto “sbroglio automatico” o “autorouting”.

L’autorouting è un sistema che, stabilite determinate regole ( come numero di layer, spessore delle piste, isolamento tra piste, distanza tra piste e componenti e distanze tra piste e bordi), genera automaticamente e in pochi minuti le tracce in rame sui diversi layer della scheda. Tali tracce ovviamente non appaiono come quelle che traccerebbe manualmente un progettista elettronico, in quanto si osserva che spesso il percorso della pista realizzato non è il più efficiente ottenibile, ma è più lungo, comportando resistenze maggiori e dunque cadute di tensione maggiori.

Però, per l’applicazione in questione, il cui scopo è solo quello di trasferire dei segnali nell’ordine del milliampere da una zona all’altra della scheda, tali cadute sono poco rilevanti e pertanto la tecnica dell’autorouting è utilizzabile per lo sbroglio della scheda di interfaccia.

## 5. Realizzazione della fixture “cableless”

Visto il funzionamento efficiente della procedura presentata nel capitolo 4 e in particolare degli script per la conversione dei dati e vista anche la soluzione meccanica particolarmente convincente presentata nella sezione 3.1.3, si è deciso, in accordo con l’azienda ospitante, di realizzare una fixture di test con le metodologie precedentemente descritte.

Dato l’utilizzo della scheda elettronica in sostituzione dei cablaggi dei ricettacoli, tale fixture è stata internamente denominata “cableless” o “cabless”.

Per realizzare questo tipo di fixture si è iniziato dal classico progetto meccanico di essa, seguendo però le variazioni evidenziate nella sezione 3.3. Oltre a ciò, il progettista meccanico, dopo aver progettato la fixture, prima di passare alla creazione dei file di foratura, ha tracciato il profilo della scheda di interfaccia, ponendo su di essa anche le tracce dei connettori da inserire e le lavorazioni meccaniche presenti su di essa, e ha inviato il file CAD al progettista elettronico.

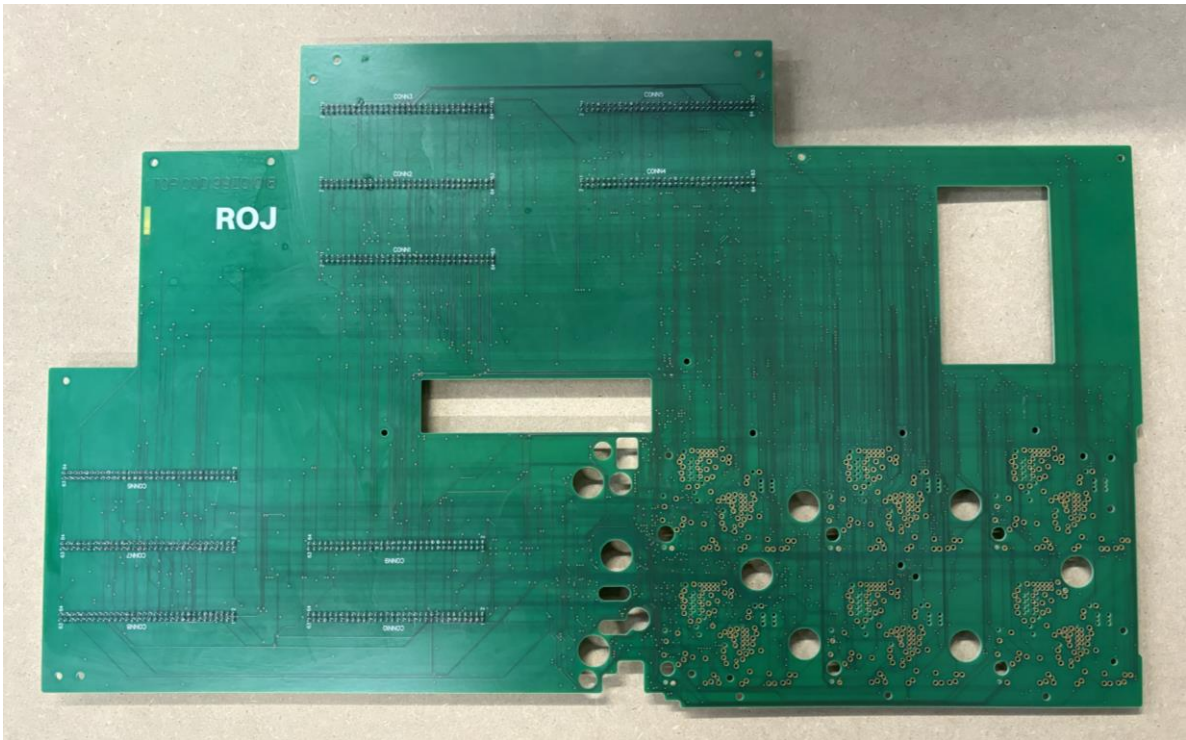
In questo modo l’attività di progettazione elettronica della scheda si è sviluppata parallelamente all’ultima attività della progettazione meccanica.

Avendo a disposizione il profilo della scheda e il file Excel sorgente di essa, seguendo tutta la procedura presentata nel capitolo 4, si è progettata e acquistata la scheda elettronica di interfaccia.

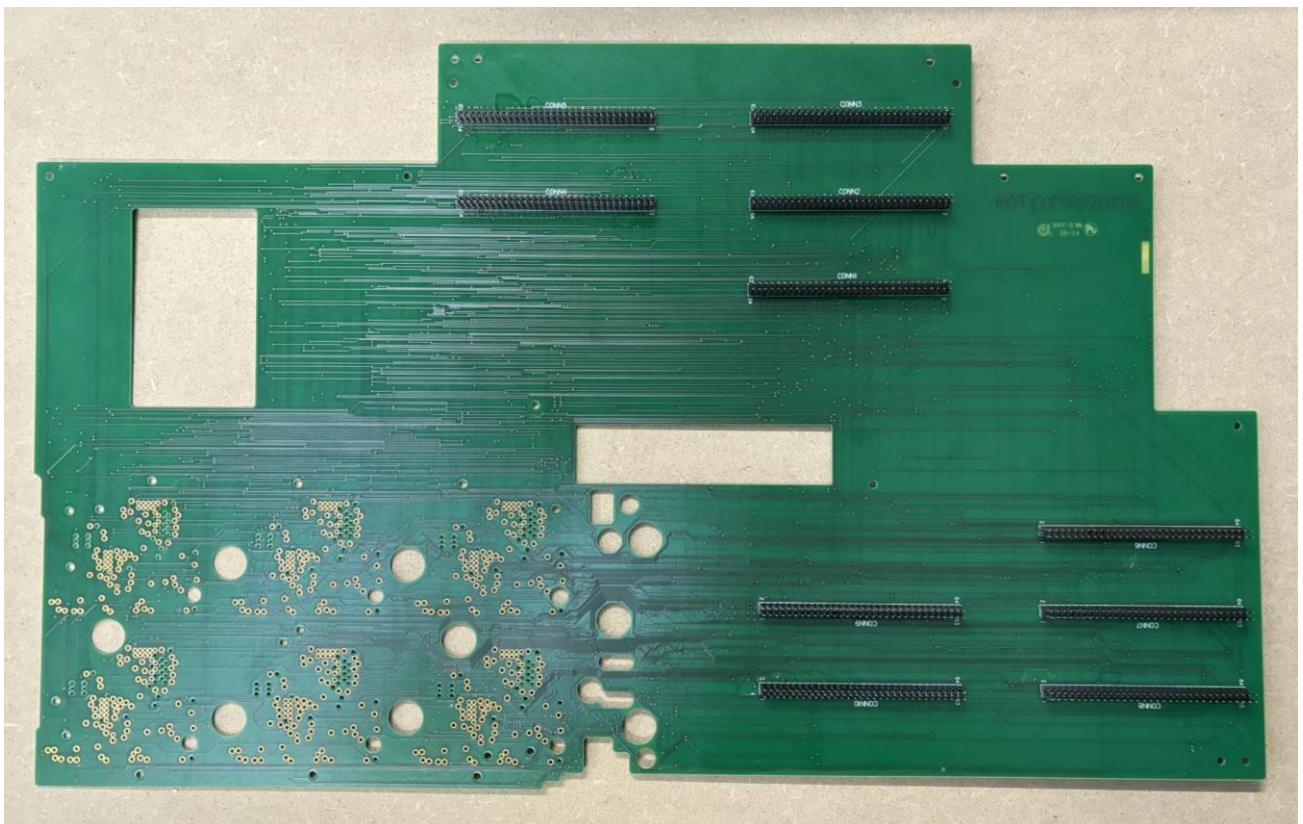
Le specifiche utilizzate per realizzarla sono state:

- Dimensioni: 500 x 305 mm;
- Numero layer: 4;
- Larghezza piste: 0.15 mm;
- Isolamento piste: 0.15 mm;
- Spessore rame: 35  $\mu\text{m}$ .

Essa è visibile di seguito:



*Figura 5.1: scheda elettronica di interfaccia, vista anteriore*



*Figura 5.2: scheda elettronica di interfaccia, vista posteriore.*



Dalle immagini della scheda è possibile osservare chiaramente i fori metallizzati dorati in cui verranno inseriti a pressione i ricettacoli e le piste che trasportano i segnali dai fori ai pin dei diversi connettori.

È altresì evidente la disposizione schematica dei connettori. Essi sono divisi in due gruppi da cinque, in quanto cinque connettori andranno riportati sulla testata 1 e cinque connettori andranno riportati sulla testata 2. Inoltre, essi sono disposti su file parallele, posizionate sulla fixture in corrispondenza delle aperture dello zif holder modificato (figura 3.6 ) per rendere più agevole il montaggio degli stessi.

Essendo che la parte posteriore di tale scheda viene fissata al piano fisso 8 è ora evidente anche la necessità di scaricare questo piano nei punti corrispondenti alla posizione dei connettori (figura 3.5).

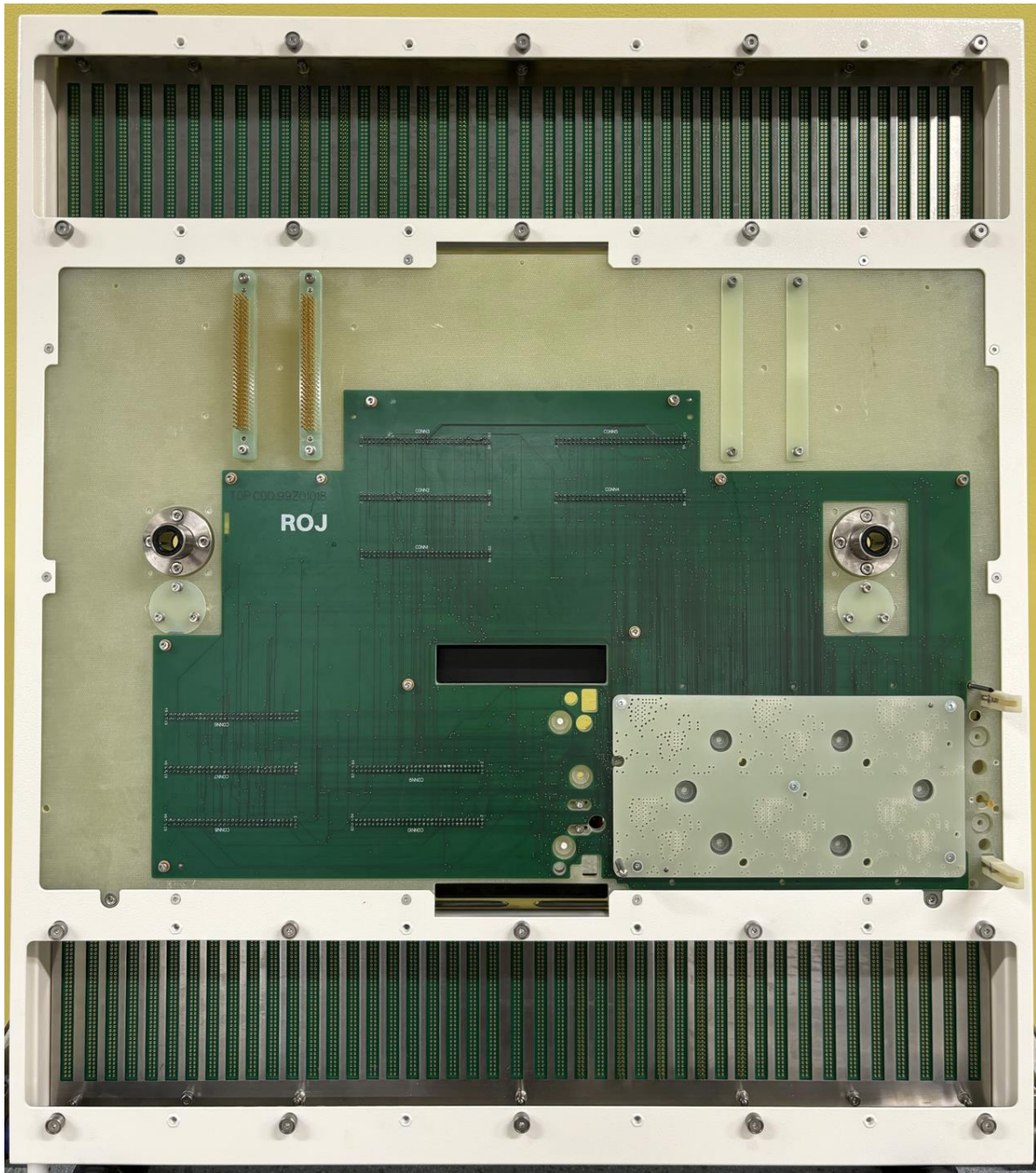
Parallelamente ai tempi di progettazione, realizzazione e consegna della scheda, il progetto meccanico è stato ultimato e si è potuto dunque procedere al taglio dei piani e all'assemblaggio di questa tipologia di fixture.

Per quanto riguarda l'assemblaggio del top fixture non ci sono stati cambiamenti rispetto alle fixture tradizionali, così come per quanto riguarda l'assemblaggio dei piani mobili. Riguardo le testate, invece, è introdotta una piccola variazione; in particolare, sulle strip in cui verranno fissati i connettori solidali al flat, è necessario montare strip lunghe e tagliare gli otto pin delle estremità posteriori di esse, a causa della differenza nel numero di pin utilizzati e presenti sulle strip della testata.

La vera differenza è presente nell'assemblaggio della base del bottom fixture. In particolare, non si parte fissando tra loro piano fisso 5 e piano fisso 8, ma avendo realizzato la scheda di interfaccia, è necessario seguire una strategia differente.

In primo luogo, è necessario centrare e fissare tra loro piano fisso 8 e scheda di interfaccia. Si osservi che è importante utilizzare rondelle di cartone sulle viti di fissaggio la cui testa aderisce sulla scheda, per evitare conduzione dei segnali in posizioni indesiderate. Successivamente si centra il piano fisso 4 (ossia il piano fisso 5 ridotto di 1 mm) sui due precedenti e lo si fissa in modo da bloccare la scheda. Il resto del montaggio della base e di tutto il bottom fixture è analogo a una fixture tradizionale.

Di seguito si presentano dunque le foto del bottom fixture assemblato:



*Figura 5.3: base bottom fixture, vista anteriore*

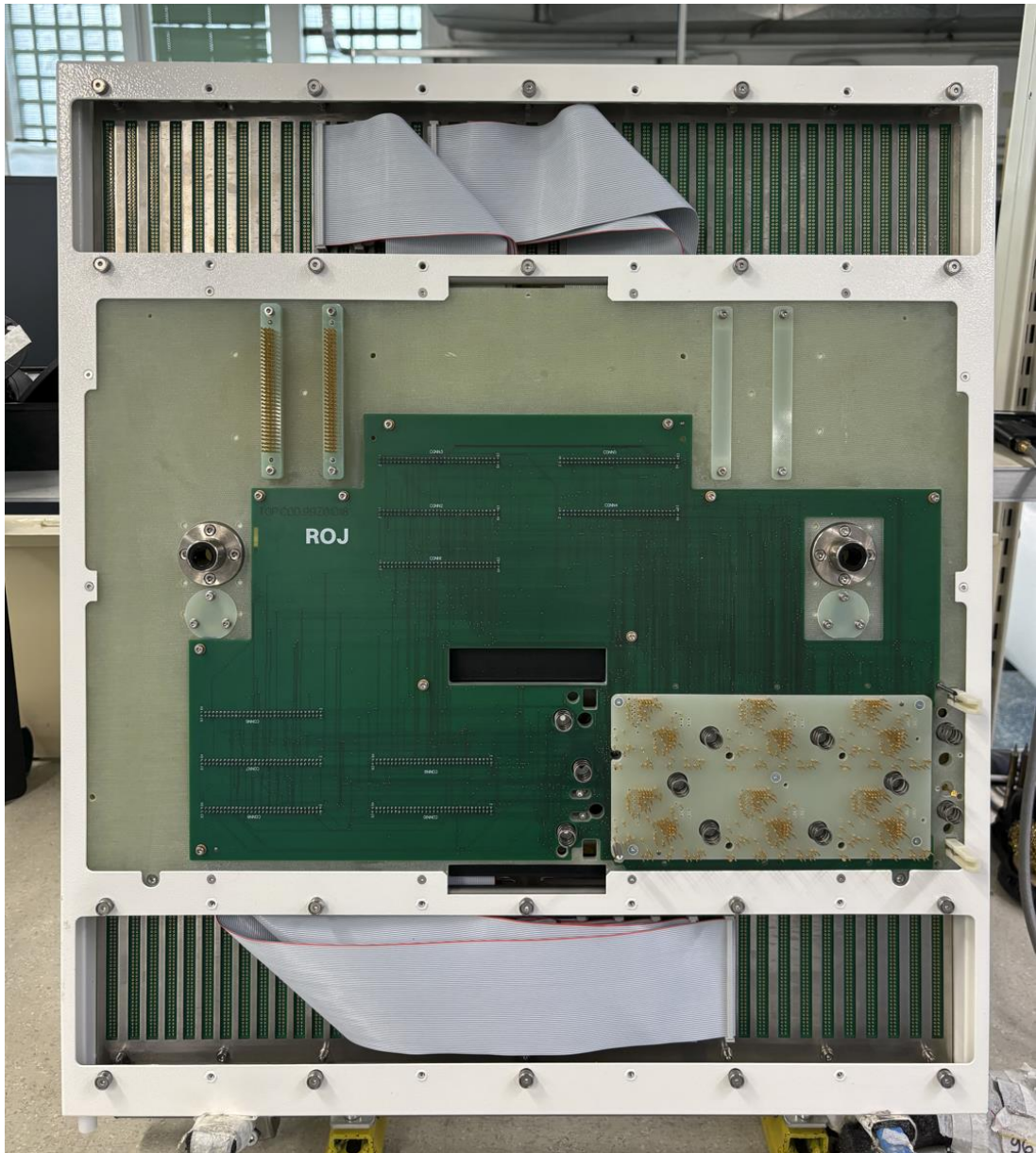


*Figura 5.4: base bottom fixture, vista posteriore*

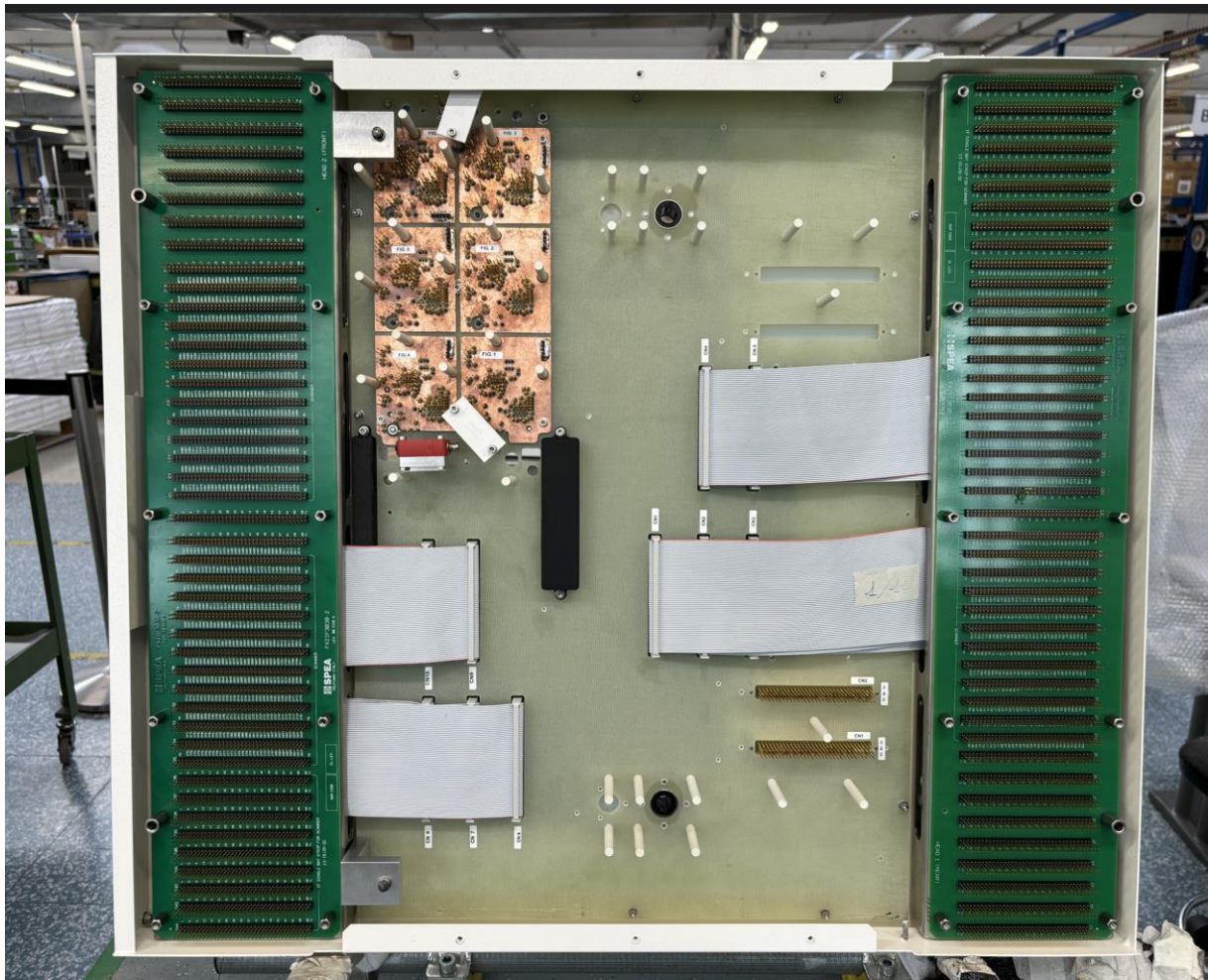
Assemblato il bottom fixture, è stato finalmente possibile collegare i connettori sulla scheda al retro delle strip della testata attraverso i cavi flat, passando in mezzo alle asole presenti sullo zif holder.

Il cablaggio della fixture è dunque completato in pochi minuti.

Di seguito si presenta la fixture cablata con i flat:



*Figura 5.5: Fixture cablata coi flat, vista anteriore*



*Figura 5.6: fixture cablata coi flat, vista posteriore*

Se si rapporta questa fixture ad una cablata normalmente (per esempio quella di figura 1.44), oltre al ridotto dispendio temporale, è possibile notare anche l'ordine e la pulizia della fixture realizzata mediante questa tecnica.

La fixture cables può dirsi quindi conclusa e pronta per essere debuggata dal progettista elettronico ed essere poi posizionata in linea su una macchina di test.



*Figura 5.7: fixture in macchina di test manuale per il debug*

## 6. Conclusioni e sviluppi futuri

Il periodo in azienda in cui si è svolta questa attività ha previsto una fase iniziale in cui si è analizzato nel dettaglio ogni aspetto legato alla progettazione e realizzazione delle fixture tradizionali. Nella fase successiva, è stata invece realizzata la fixture descritta nel capitolo precedente con una modalità totalmente innovativa e sono stati svolti svariati test su di essa.

Dunque, grazie all'esperienza accumulata tra lo studio delle fixture tradizionali e l'elaborazione della fixture cableless, è stato possibile giungere a diverse conclusioni su differenti aspetti.

### 6.1. Aspetto economico e logistico

Per quanto riguarda le conclusioni legate all'aspetto economico è necessario fare una premessa. La fixture realizzata era prototipale, così come la scheda di interfaccia e come tanti componenti utilizzati all'interno della fixture; è noto che i componenti prototipali, a maggior ragione se richiesti in pezzo singolo, hanno prezzi molto più alti di quelli di pezzi di produzione consolidata. Pertanto, sarebbe scorretto utilizzare i prezzi spesi per i componenti prototipali per fare valutazioni di carattere economico definitive, in quanto tale valutazione risulterebbe scorretta.

Quello che è certo è che il materiale non sarebbe di certo a basso costo, in quanto la prerogativa per la realizzazione di questo tipo di fixture è l'acquisto di una scheda di interfaccia gemella di quella in test, che va acquistata per forza di cose in pezzo singolo. In una situazione del genere sarebbe possibile accordarsi però con un fornitore per l'acquisto di un certo numero di schede prototipali, per cercare di abbassare il prezzo sul pezzo singolo. Per quanto riguarda gli altri componenti (zif holder modificati, flat, connettori) essi sono identici su tutte le fixture cableless; pertanto, un loro acquisto in grossa quantità ne abbatterebbe sicuramente il prezzo.

Giunti a una stima attendibile del prezzo di extra materiale per la realizzazione di una fixture cableless, bisognerebbe confrontare tale valore con il prezzo orario di un'operatrice al cablaggio, moltiplicato per i 30 TP che lei è in grado di cablare in un'ora di lavoro, per valutare la convenienza economica nel realizzare una fixture con questa metodologia.

Sarebbe possibile anche individuare il numero di TP da cablare che costituirebbe il punto di pareggio con la seguente formula:

$$n_{TP\_LIM} = \frac{\text{costo\_materiale}}{\text{costo\_orario\_cablaggio}} \cdot TP\_orari\_cablati$$

Avendo specificato che i TP cablati in un'ora di lavoro sono 30 ed essendo il costo del cablaggio fisso, si evince che l'unico parametro impattante sul numero di test point minimi per realizzare una fixture con questa metodologia sia proprio il costo del materiale.

Se per quanto riguarda l'aspetto economico è necessario fare delle valutazioni sulla convenienza, sull'aspetto temporale è stato da subito evidente l'immediatezza del processo. La rapidità nella connessione dei flat rispetto al cablaggio tradizionale ha comportato un notevole risparmio di tempo nella fase finale, mentre i tempi di progettazione e consegna scheda sono avvenuti parallelamente alla fase finale del progetto meccanico, permettendo di sovrapporre le diverse fasi di lavoro per ottenere un risparmio di tempo globale. Inoltre, è bene evidenziare che la rapidità nei tempi di progettazione della scheda di interfaccia è stata garantita anche dall'utilizzo del software realizzato per l'elaborazione automatica dei dati.

L'unico vero aspetto negativo di questa tipologia di fixture è la sua impossibilità ad essere applicate a schede dual stage molto ricche di hardware, o in generale a schede che occupano una superficie importante sul piano fisso 8. Inoltre, si tenga presente che questo CS di interfaccia è nato per sostituire i collegamenti per il test ICT, dunque nel caso di fixtures con test FCT largamente predominante sull'ICT, non sarebbe di certo impossibile inserirlo, ma di certo la sua utilità sarebbe limitata.

## 6.2. Aspetto tecnologico

Dal punto di vista tecnologico questa fixture funziona in maniera molto simile alle fixture tradizionali, in quanto i fili in rame inguainati sono sostituiti da delle piste in rame annegate in una scheda.

In particolare, l'aspetto tecnologico presente sulle fixture tradizionali che si voleva mantenere era la flessibilità, ossia la possibilità di "scablare" e "ricablare" i cavi in una posizione differente, per poter gestire errori o modifiche progettuali. Tale aspetto viene conservato grazie alla presenza dei ricettacoli con estremità libera per cablare.



Un aspetto pratico che si è osservato è una grande diminuzione nella possibilità di commettere errori durante il cablaggio, in quanto non bisogna più ricercare la coda di un ricettacolo tra una moltitudine di punti ravvicinati, ma è sufficiente collegare le estremità dei connettori tra loro, secondo quanto indicato dalla documentazione. L'unico possibile errore sarebbe inserire il connettore al contrario, ma avendo standardizzato l'operazione di piegatura del flat, durante la fase di determinazione del pin 1, quest'errore risulta raro.

Dal punto di vista tecnologico è stato anche osservato un aspetto negativo, che però già ci si attendeva, ossia un aumento di resistenza nel collegamento effettuato con le piste in rame, rispetto a quella presente sui cablaggi.

Dalla seconda legge di Ohm è noto che la resistenza elettrica è direttamente proporzionale alla resistività e alla lunghezza del filo, mentre è inversamente proporzionale alla sezione. Siccome in entrambi i casi il materiale è rame e inoltre la lunghezza dei fili e della pista sulla scheda è paragonabile, la differenza di resistenza è tutta imputabile alla differenza di sezione.

L'AWG28, utilizzato per i collegamenti ICT, ha infatti una sezione circolare di diametro 0.32 mm. Le piste utilizzate hanno larghezza di 0.15 mm e spessore addirittura di 35  $\mu\text{m}$ . A causa di queste evidenti differenze nella sezione era lecito attendersi innalzamenti di resistenza sulla scheda.

Una soluzione futura per aggirare questo problema potrebbe essere quella di utilizzare un circuito stampato con un maggior numero di layer (aumentando il costo), aumentando però la larghezza delle piste.

### **6.3. Sviluppi futuri**

Essendo quella appena descritta un'attività molto innovativa, che mira a stravolgere la struttura e la tecnologia di funzionamento delle fixture originali, è possibile intravedere molti possibili sviluppi, in diverse fasi del processo.

In primo luogo, non si è mai parlato di applicare la scheda di interfaccia sul bottom di fixtures che hanno contattazione top, oppure addirittura anche sul top di queste. Tale soluzione sarebbe relativamente semplice da gestire, apportando qualche modifica agli script che elaborano i dati.

Una soluzione di questo tipo prevederebbe di inserire sul bottom una scheda di interfaccia con il rimando bottom già annegato in essa, i cui pin sono portati a connettori identici a quelli usati per cablare i TP con i cavi flat. La scheda top, invece, sarebbe ancora più semplice da realizzare e non richiederebbe neppure collegamenti attraverso i cavi flat, in quanto il suo unico ruolo sarebbe collegare i fori metallizzati (in cui verrebbero inseriti i ricettacoli top) ai pin del rimando, che sarebbe anch'esso annegato all'interno della scheda di interfaccia top.

Un ulteriore sviluppo, sicuramente più laborioso del precedente, sarebbe cercare di gestire con la scheda di interfaccia anche i collegamenti di extracanalale, cercando di mantenere però il processo il più automatizzato possibile. In questo caso sarebbe necessario reperire gli stessi hardware che tipicamente si inseriscono sulla fixture e “annegarli” nella scheda, gestendo con la progettazione elettronica i loro collegamenti. Tale processo potrebbe rischiare però di allungare di molto le tempistiche legate alla progettazione elettronica; pertanto, sarebbe da valutarne attentamente la convenienza.

Infine, lo sviluppo finale del progetto sarebbe cercare di mettere in collegamento la scheda di interfaccia direttamente con la testata, che è anch'essa un CS, senza più passare dai flat. Gli ingombri della fixture attualmente non lo rendono possibile e ci sarebbero da rivedere profondamente numerosi componenti per riuscirci (frame compreso) e non si esclude che, per rendere tale interfacciamento possibile, si potrebbe dover ricorrere a modificare anche la macchina di test.

Un'altra soluzione per effettuare questa integrazione potrebbe anche essere basata su un circuito stampato rigido flessibile, che però dovrebbe comunque avere una struttura parecchio complessa e in genere porta con sé costi di realizzazione molto alti.

## Bibliografia

- [1] Fortune Business Inside. *Electronic Manufacturing Services (EMS) Market Size, Share & Industry Analysis, By Service (Electronics Manufacturing Services, Engineering Services, Test & Development Implementation, Logistics Services, and Others), By Industry (Consumer Electronics, Automotive, Heavy Industrial Manufacturing, Aerospace and Defense, Healthcare, IT and Telecom, and Others), and Regional Forecast, 2024-2032*. 2024. <https://www.fortunebusinessinsights.com/electronic-manufacturing-services-ems-market-105519>
- [2] Electronic Product Design & Test. *The importance of testing electronic components*. 2021. <https://edition.pagesuite-professional.co.uk/html5/reader/production/default.aspx?pubname=&edid=e5930d5c-76bd-44a3-a21e-87c8b54d1eb5&pnum=24>
- [3] Rob Putala. Bloomy. *In-Circuit vs. Functional Test*. 2014. <https://www.bloomy.com/support/blog/circuit-vs-functional-test>
- [4] Ibe Electronics. *ICT Test vs. Flying Probe Test: A Comparative Analysis of Electronic Testing Methods*. <https://www.pcbaaa.com/ict-test-vs-flying-probe-test/#:~:text=ICT%20testing%20is%20cost%2Deffective,can%20be%20quicker%20to%20i mplement.>
- [5] Rui Oliveira, Luís Freitas, Teresa Malheiro, Diogo Costa, José Vicente, Arminda Manuela Gonçalves and José Machado. *A Systematic Analysis of Printed Circuit Boards Bending during In-Circuit Tests*. Machines. 2022.
- [6] Michael J. Smith and Neil Adams. Electronic Design. *The Selection and Economics of Wireless Test Fixtures*. <https://www.electronicdesign.com/technologies/test-measurement/article/21201260/the-selection-and-economics-of-wireless-test-fixtures>
- [7] Electronic Notes. *ICT, In Circuit Test Fixtures: Bed-of-Nails & Probe*. <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/automatic-automated-test-ate/ict-in-circuit-test-fixture-bed-of-nails-probes.php>

