

Indice

Introduzione	7
1. INARCA S.p.a.	9
1.1 Storia dell'azienda.....	10
1.2 Profilo aziendale	11
1.2.1 Prodotti.....	11
1.2.2 Qualità e certificazioni	12
2. Teoria della connessione elettrica	15
2.1 Definizione della resistenza di contatto.....	16
2.1.1 Resistenza di costrizione.....	17
2.1.2 Resistenza di film.....	20
2.1.3 Effetti dei rivestimenti superficiali	21
2.1.4 Influenza della temperatura	24
2.1.5 Valutazione della forza normale di contatto	28
2.2 Problemi inerenti ai contatti elettrici.....	30
2.2.1 Usura.....	30
2.2.2 Corrosione	32
2.2.3 Fretting	33
2.2.4 Ossidazione.....	35
2.3 Materiali usati nei contatti elettrici.....	38
2.3.1 Metalli di base	38
2.3.2 Materiali per i rivestimenti superficiali	39
2.3.3 Materiali per i sottostrati conduttivi.....	42

2.3.4	Materiali plastici per l'isolamento	44
2.4	Tipologie di connessione elettrica.....	45
2.4.1	Connettori per applicazioni in bassa tensione.....	45
2.4.2	Connessioni elettriche saldate.....	46
2.4.3	Connessioni elettriche prive di saldatura	48
3.	Connessioni elettriche a spostamento di isolante (IDC)	53
3.1	Connessioni IDC per fili smaltati (RS)	54
3.1.1	Caratteristiche funzionali dei terminali RS	56
3.1.2	Prodotti INAR-RS	58
3.1.3	Metodologie di applicazione dei prodotti INAR-RS	61
3.1.4	Macchine per l'applicazione dei prodotti INAR-RS.....	68
3.2	Connessioni IDC per cavi isolati con guaina (RAST).....	70
3.2.1	Caratteristiche funzionali dei connettori RAST.....	71
3.2.2	Controllo della deformazione del conduttore	73
3.2.3	Prodotti INAR-RAST	75
3.2.4	Macchine per l'applicazione dei prodotti INAR-RAST	78
3.3	Vantaggi e svantaggi delle connessioni IDC	80
4.	Analisi delle Normative Internazionali	83
4.1	Enti di Normazione e di Certificazione.....	84
4.1.1	Struttura Enti Normatori	85
4.1.2	Enti di Certificazione Industriale.....	88
4.2	Prescrizioni normative generiche e di base	91
4.2.1	Terminologia	91
4.2.2	Norme di base IEC 512.....	95
4.2.3	Norma di base IEC 61984.....	99
4.2.4	Indicazioni di prova generali	99
4.3	Prescrizioni normative specifiche per le connessioni IDC	101
4.3.1	Definizioni fondamentali	101
4.3.2	Caratteristiche di progetto delle connessioni IDC	104
4.3.3	Prescrizioni di prova introduttive sulle connessioni IDC	108
4.3.4	Esame generale dei campioni in prova	109
4.4	Prove meccaniche	110
4.4.1	Forza di estrazione trasversale del filo.....	111
4.4.2	Prova di resistenza alla trazione (carico statico assiale)	112
4.4.3	Piegatura del filo.....	113
4.4.4	Vibrazioni	115
4.4.5	Connessioni e sconnessioni ripetute di terminali IDC riutilizzabili.....	121
4.4.6	Microsezione	121
4.5	Prove elettriche	122
4.5.1	Perturbazione di contatto	122
4.5.2	Resistenza di contatto	123
4.5.3	Resistenza di isolamento e tensione di tenuta.....	127
4.5.4	Carico di corrente ciclico e sovraccarico elettrico	128
4.5.5	Carico elettrico e temperatura.....	130

4.5.6	Prove di portata di corrente: curve corrente-temperatura (derating).....	131
4.6	Prove climatiche	136
4.6.1	Caldo umido ciclico.....	136
4.6.2	Sequenza climatica	140
4.6.3	Cambi rapidi di temperatura	142
4.6.4	Corrosione in atmosfera industriale.....	144
4.6.5	Prova di corrosione in nebbia salina	145
4.6.6	Prove di vita in temperatura e di aumento di temperatura	146
4.7	Prove su componenti in materiale plastico.....	147
4.7.1	Prove meccaniche sui connettori in materiale plastico	147
4.7.2	Prove elettriche e ambientali sui connettori in materiale plastico.....	148
4.7.3	Prove di infiammabilità	151
5.	Implementazione sperimentale delle Normative Internazionali	155
5.1	Organizzazione delle prove.....	155
5.1.1	Preparazione dei campioni in prova.....	156
5.1.2	Programma di prove di base per connessioni IDC accessibili	157
5.1.3	Programma di prove completo per connessioni IDC accessibili.....	160
5.1.4	Programma di prove di base per connessioni IDC non accessibili	164
5.1.5	Programma di prove completo per connessioni IDC non accessibili.....	167
5.2	Metodi di misura e strumentazione per prove meccaniche	170
5.2.1	Cella dinamometrica.....	170
5.2.2	Sistemi di vibrazione	171
5.3	Metodi di misura e strumentazione per prove elettriche	175
5.3.1	Misura di resistenza a 4 terminali	175
5.3.2	Strumenti per le misure elettriche	177
5.3.3	Termocoppie.....	178
5.4	Strumentazione per prove climatiche e condizioni ambientali.....	179
5.4.1	Camere climatiche.....	179
5.4.2	Camere per prove di corrosione.....	180
5.4.3	Definizione delle condizioni ambientali	181
Conclusioni	185	
Bibliografia	189	

Introduzione

La connessione elettrica rappresenta uno degli aspetti più critici da trattare nella realizzazione di qualsiasi tipo di circuito elettrico ed elettronico. Questo perché, nell'interfaccia di connessione, è sempre presente una perdita di segnale. Risulta quindi fondamentale trattare gli aspetti relativi alle connessioni elettriche in maniera attenta ed approfondita, ai fini di garantire l'assoluta *affidabilità* dei componenti impiegati per la connessione stessa. In ogni caso, ci sono tre aspetti fondamentali da tenere presente per assicurare l'affidabilità di una connessione: il primo è "costruire" l'affidabilità stessa all'interno di un connettore attraverso le decisioni che riguardano i materiali da usare e le scelte progettuali di disegno; il secondo è la fase di realizzazione di *terminali* e *housing* (involucri di materiale isolante che contengono il terminale) per mezzo dello stampo, il quale deve garantire la corretta produzione di questi componenti; il terzo è valutare che siano effettivamente state realizzate le prestazioni affidabili proposte.

E' necessario a questo punto cercare di dare una definizione di affidabilità che valga per l'argomento in questione. Essa può essere definita come la probabilità che un prodotto svolga la funzione specifica per cui è stato progettato, in presenza di specifiche condizioni ambientali e per uno specifico periodo di vita. Da questa definizione si capisce come non si possa dichiarare l'affidabilità per un prodotto in generale, ma è necessario specificare il tipo di prodotto e la funzione specifica che deve svolgere per un determinato periodo di vita. Un altro aspetto fondamentale della questione riguarda il senso probabilistico della definizione, in questo caso quindi possiamo asserire l'affidabilità di un connettore elettrico solo in termini di probabilità.

Tuttavia è possibile considerare un approccio all'affidabilità di un connettore elettrico da un punto di vista più generico. Un connettore è un sistema elettromeccanico che garantisce una connessione elettrica separabile tra due sottosistemi; è un sistema elettromeccanico poiché la sua struttura è meccanica (alette flessibili del terminale) mentre la sua funzione è elettrica (trasferisce corrente da un corpo ad un altro). La divisibilità della connessione garantita dal connettore è il fulcro del problema di affidabilità. Questa necessità impone diverse restrizioni sulle forze, flessioni e deformazioni che possono essere progettate in un connettore. Inoltre quando viene effettuata la

connessione i suoi effetti devono “scompare”, cioè non devono assolutamente essere introdotte distorsioni del segnale o perdite di potenza che non siano accettabili, durante il periodo di vita specificato. Quest'ultima necessità si traduce da un punto di vista elettrico in una esigenza relativa alla resistenza. E' ovvio infatti che un connettore introduca sempre nel sistema una certa resistenza, tuttavia la grandezza e la stabilità di tale resistenza devono sempre essere sotto controllo nel corso del tempo. Parlando in modo semplicistico si potrebbe dire che un connettore non è altro che due superfici metalliche tenute assieme da delle strutture ausiliarie. In microscala, tutte le superfici sono ruvide, questo fatto determina le caratteristiche delle prestazioni sulla superficie di contatto e a sua volta la prestazione dell'interfaccia di contatto determina l'affidabilità di un connettore.

Dopo aver definito il concetto di affidabilità di una connessione elettrica, è fondamentale far presente lo scopo e le metodologie di lavoro che caratterizzano questo elaborato. E' giusto ricordare che la realizzazione del lavoro è stata permessa grazie alle informazioni messe a disposizione da *INARCA S.p.a.* Essa è un'azienda italiana leader nel settore della produzione di connettori elettrici, in particolare delle connessioni elettriche prive di saldatura, la quale ha sede nella provincia di Padova.

Lo scopo di questo lavoro è quello di riportare ed analizzare le prescrizioni dettate dai principali *Enti Normativi Internazionali*. Tali prescrizioni normative garantiscono, alle aziende produttrici di connettori elettrici (compresa *INARCA*), di realizzare prodotti affidabili e commercializzabili in tutto il mondo. Questa analisi viene effettuata per un prodotto in particolare, le connessioni elettriche senza saldatura, nello specifico le *connessioni elettriche a spostamento di isolante*. La trattazione dell'argomento si pone l'obiettivo di definire, sia dal punto di vista teorico che sperimentale, dei procedimenti di prova che siano in grado di certificare e garantire il corretto funzionamento dei componenti nel corso del loro funzionamento. Alla fine della trattazione, il lettore sarà quindi in grado di capire le principali problematiche legate alle connessioni elettriche e conoscere nello specifico le connessioni elettriche a spostamento di isolante, avendo presente tutti i procedimenti di collaudo a cui sono sottoposti questi componenti.

L'elaborato è stato concepito per approcciare alle tematiche relative alle connessioni elettriche in modo progressivo e per quanto possibile completo, essendo suddiviso in cinque capitoli.

Il capitolo 1 è dedicato ad *INARCA S.p.a.*, l'azienda che ha reso possibile la stesura di questo lavoro. Esso comprende una breve descrizione dell'azienda e della sua storia.

Il capitolo 2 tratta le connessioni elettriche da un punto di vista generale, considerando gli aspetti teorici relativi alla stabilità elettrica e dai fattori che la influenzano. Saranno definiti anche i problemi che riguardano i connettori elettrici, i materiali con i quali vengono costruiti e le tipologie di connessione attualmente impiegate.

Il capitolo 3 tratta in maniera specifica le connessioni elettriche a spostamento di isolante, per le quali verranno successivamente analizzate le prescrizioni normative da applicare. Questo capitolo contiene anche la descrizione di prodotti specifici realizzati da *INARCA*, completa della descrizione dei sistemi di produzione e applicazione dei prodotti stessi.

Il capitolo 4 riporta tutte le Normative Internazionali e gli standard industriali relativi alle connessioni elettriche a spostamento di isolante. L'analisi di queste norme prevede una descrizione dettagliata di ogni singola prova necessaria ad ottenere l'omologazione di questa tipologia di connettori.

Il capitolo 5 si occupa infine di definire, a livello pratico, i programmi di prova a cui sottoporre le connessioni elettriche a spostamento di isolante. Questo capitolo comprende anche una descrizione della strumentazione e dei metodi di misura indispensabile per realizzare le prove.

1. INARCA S.p.a.

Prima di trattare gli aspetti tecnici e normativi legati alle connessioni elettriche è doveroso introdurre l'azienda che ha permesso la stesura di questo lavoro, l'azienda in questione è INARCA S.p.a. che ha sede negli stabilimenti di Vigodarzere (PD) e di Campodarsego (PD) (vedi **Figura 1.1**). INARCA progetta e produce terminali, connettori, tecnologie, e macchine per la connessione elettrica; è di fatto la prima azienda italiana nei prodotti per la connessione elettrica e si propone come interlocutore competente e partner di fiducia per lo sviluppo dei progetti fino alla realizzazione di prodotti personalizzati. L'esclusiva specializzazione ha consentito di accumulare un'ampia conoscenza delle tematiche del mercato al quale si rivolge con la realizzazione di soluzioni sempre più innovative ed efficaci. In oltre 45 anni di presenza sul mercato, INARCA ha sviluppato e consolidato uno stretto rapporto con i propri clienti: dai produttori di grandi e piccoli elettrodomestici, ai produttori di motori elettrici (per elettrodomestici, hobbistica, ventilazione, movimento liquidi, ecc.), ai costruttori di resistenze per elettrodomestici, sistemi di controllo e regolazione fino ai costruttori di cablaggi, fornendo prodotti e soluzioni caratterizzate dalla massima affidabilità, sicurezza ed economicità. Di seguito verrà riassunta la storia dell'azienda e sarà riportata una breve descrizione dei prodotti e dei servizi che Inarca propone sul mercato.

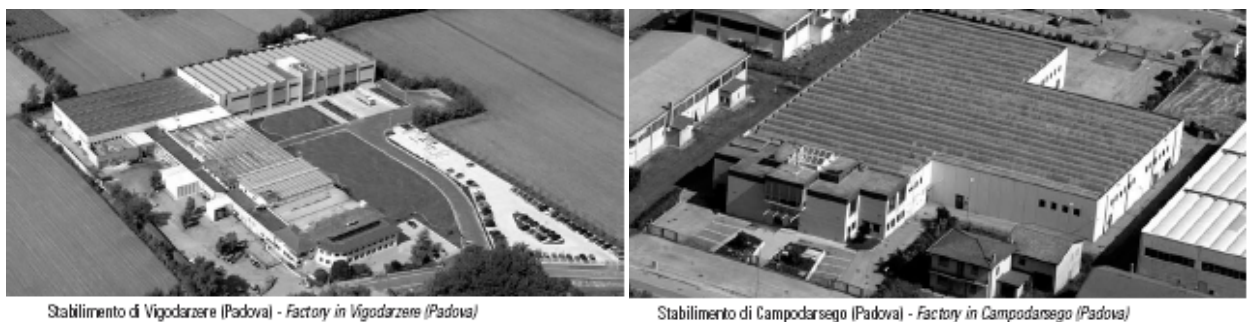


Figura 1.1 – Fotografie dall'alto degli stabilimenti di produzione dell'azienda Inarca.

1.1 Storia dell'azienda

Il percorso di INARCA inizia nel 1964, anno di fondazione della società, al tempo gestita da tre soci che erano Piovesan, Bortolini e Carlotto; attualmente però l'azienda è di proprietà del solo Gianni Piovesan. L'acronimo che dà il nome all'azienda sta per IN.dustria AR.tigiana C.ablaggi A.fferini; all'inizio l'idea era quella di produrre pinze e macchine per l'aggraffatura dei capicorda sui cavi elettrici ed anche i relativi cablaggi, questi ultimi però non furono mai prodotti perché l'azienda si concentrò nella realizzazione dei capicorda (la sigla rimase quindi invariata).

Come primo passo i tre soci fondatori si impegnarono a studiare un'innovativa pinza semiautomatica, manuale, per eseguire l'aggraffatura dei capicorda sui cavi conduttori di energia elettrica. Tale progetto fu realizzato e brevettato nel 1964 ed ebbe subito successo nel mercato. La pinza quindi andò in produzione e questo fu l'inizio vero e proprio del progetto imprenditoriale di Piovesan e soci. Dall'idea della pinza si passò ben presto a quella di una macchina elettrica per l'aggraffatura dei capicorda in modo da allargare il mercato. Questo passo si rivelò essenziale in quanto permise ad INARCA di inserirsi nel mercato dei capicorda, al tempo dominato da grosse aziende multinazionali. Nacque quindi l'esigenza di allargare lo spazio disponibile per poter inserire nuove macchine utensili, come stampi e presse, che avrebbero permesso la produzione dei capicorda. La produzione di minuteria metallica, oltre ai sistemi di aggraffatura, permise l'espansione sul mercato di INARCA, che poteva vantare tra i propri clienti nomi illustri di aziende leader nella produzione di elettrodomestici come la *Zanussi*, la *Zoppas* e la *Ignis* alle quali ancora oggi rimane legata. Notizia curiosa è quella che, al tempo, la produzione comprendeva anche minuteria per scarpe, oltre che quella dedicata ai piccoli elettrodomestici e radio; la realizzazione di questi prodotti venne però successivamente abbandonata.

All'inizio degli anni '70, dopo un paio di spostamenti dell'ubicazione dell'azienda, sempre per ricercare uno spazio più ampio per inserire i macchinari, Gianni Piovesan (che rimarrà unico socio a partire dal 1987) decise di acquistare un terreno di due "campi" (circa 8000 m²) in Via Cà Zusto a Vigodarzere (PD) per costruire un capannone di 600 m², che è l'attuale sede di INARCA.

Il giro di boa si fa risalire agli anni '80 quando l'azienda decise di abbandonare la minuteria generica per lanciarsi nella produzione di un prodotto specifico: le connessioni elettriche senza saldatura. Grazie a questa coraggiosa decisione INARCA ebbe modo di affiancare al tradizionale stampaggio di prodotti metallici anche lo stampaggio di materie plastiche, le quali vengono usate per realizzare gli involucri dei terminali elettrici. Ebbe così inizio un nuovo corso aziendale che permise l'affermazione nei mercati internazionali del settore dell'elettrodomestico, dove INARCA è leader europeo. Negli ultimi anni l'azienda ha consolidato la sua presenza nel mercato anche grazie all'introduzione di nuovi sistemi di contatto come la linea di connettori "INAR-IDC-RAST 2,5, 2,5 ENERGY e 5" (connessioni elettriche a spostamento di isolante IDC).

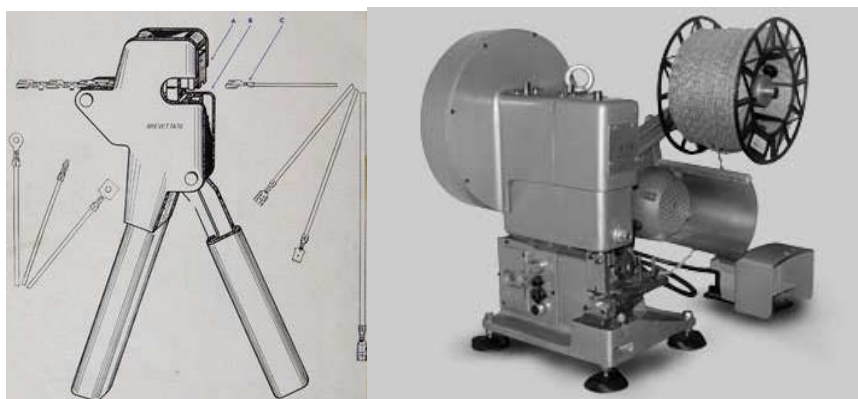


Figura 1.2 – Illustrazione delle prime macchine prodotte da INARCA: aggraffatrice brevettata nel 1964 (a sinistra); macchina per l'applicazione dei terminali del 1966 (a destra).

Infine possiamo elencare le date che hanno segnato i punti fondamentali della storia di INARCA S.p.a. in quanto hanno determinato la variazione della ragione sociale:

2 Marzo 1965 – fondazione s.f. tra Piovesan, Bortolini, Carlotto.

3 Agosto 1968 – fondazione S.n.c. tra Piovesan e Carlotto.

18 Luglio 1977 – trasformazione da S.n.c. a S.r.l.

29 Luglio 1982 – trasformazione da S.r.l. a S.p.a.

1.2 Profilo aziendale

INARCA è un'azienda costituita da un gruppo di persone preparate e motivate che lavorano bene insieme; discutono, risolvono e producono con entusiasmo per ottenere il massimo della qualità e fornire nuove idee per migliorare il prodotto. La filosofia dell'azienda si concentra attorno ad un preciso obiettivo: sviluppare una solida partnership con tutti i clienti, basata sulla propria capacità di offrire prodotti e servizi, ideati per risolvere ogni problematica relativa alla realizzazione di connessioni elettriche in modo innovativo e personalizzato. Con questa filosofia, in oltre 40 anni di attività, INARCA ha consolidato il proprio rapporto con le maggiori industrie di elettrodomestici, settore in continua evoluzione che richiede la massima affidabilità e sicurezza dei componenti elettrici e qualità dei materiali. Proprio grazie all'impegno dei lavoratori e all'esperienza, INARCA è in grado di introdurre nel mercato prodotti di alta qualità. Questa sezione si occuperà di elencare i prodotti presenti attualmente nel catalogo e di certificare l'affidabilità dei prodotti stessi.

1.2.1 Prodotti

Il successo di INARCA è legato, come già specificato in precedenza, alla qualità e alla vasta gamma dei prodotti, uniti alla facilità e rapidità di montaggio dei cablaggi elettrici e ai costi veramente competitivi. I prodotti di INARCA trovano il loro impiego nelle seguenti applicazioni:

- grandi e piccoli elettrodomestici;
- motori elettrici;
- circuiti stampati;
- apparecchiature di controllo e regolazione;
- resistenze elettriche;
- applicazioni elettromeccaniche in genere.

I terminali prodotti sono tutti costruiti tenendo conto delle prescrizioni dettate dai principali istituti di normalizzazione internazionali. La conformità a queste norme impone ad INARCA un rigoroso e costante controllo di tutti i processi produttivi, che ovviamente garantisce ai clienti la qualità dei prodotti finali. I risultati delle prove elettriche, meccaniche e di durata a cui sono sottoposti i connettori sono a disposizione dei clienti che ne facessero richiesta.

I prodotti che attualmente figurano nel catalogo di INARCA sono i seguenti:

- prodotti per connessioni lamellari maschio-femmina;
- terminali ad occhiello e a forcina;
- terminali a linguetta a saldare;
- prodotti per la connessione dei fili smaltati "INARSPLICE";
- terminali per applicazioni speciali;
- tecnologie di connessione per fili smaltati "INAR RS" (connessioni IDC);
- prodotti "INAR-LOCK" e "INAR-MINILOCK" per connessioni multiple;
- prodotti "INAR-EDGE" per connessioni su circuiti stampati;
- prodotti "INAR T.C." per connessioni passo 5;
- prodotti per connessioni di sicurezza;

- terminali ad inserimento dolce “INAR-LI”;
- connessioni a spostamento di isolante IDC.

Come si può notare la gamma dei prodotti è molto vasta. Le varie tipologie di connessione prodotte da INARCA non saranno descritte per non appesantire troppo la trattazione; verranno trattate nel dettaglio solamente le connessioni a spostamento di isolante IDC che rappresentano il fulcro di questo lavoro.

Per ciascun prodotto, INARCA definisce degli specifici *criteri di codifica del componente*. Questi codici vengono attribuiti a tutti i prodotti e indicano principalmente il tipo di materiale usato nella produzione. I codici sono composti da 10 cifre, valgono sia per i prodotti in metallo che per i componenti in plastica ed hanno una struttura detta “parlante”. Di seguito sono riportati due esempi di codifica componente:

ARTICOLO / ARTICLE / ARTIKEL / ARTICLE: 0010101201				
00	10	101	20	1
TIPO DI MATERIA PRIMA TYPE OF RAW MATERIAL TYP DES ROHMATERIALS TYPE DE MATIERE PREMIERE	CATEGORIA CATEGORY KATEGORIE CATEGORIE	NUMERO DI MATRICOLA SERIAL NUMBER MATRIKELNUMMER NUMERO DE MATRICULE	RIVESTIMENTO SUPERFICIALE SURFACE COATING OBERFLACHENUMHULLUNG REVETEMENT SUPERFICIEL	STATO DI FORNITURA SUPPLY STATUS LIEFERZUSTAND ETAT DE FORNITURE

ARTICOLO (da cod. 001 a cod. 340) / ARTICLE (from cod. 001 to cod. 340) ARTIKEL (von cod. 001 bis cod. 340) / ARTICLE (de cod. 001 à cod. 340): 0854091700				
08	54	091	70	0
MATERIALE TERMOPLASTICO THERMOPLASTIC MATERIAL THERMOPLASTISCHES MATERIAL MATERIEL THERMOPLASTIQUE	TIPO DI MATERIA PRIMA TYPE OF RAW MATERIAL TYP DES ROHMATERIALS TYPE DE MATIERE PREMIERE	NUMERO DI MATRICOLA SERIAL NUMBER MATRIKELNUMMER NUMERO DE MATRICULE	COLORAZIONE COLOURING FARBUNG COLORATION	STATO DI FORNITURA SUPPLY STATUS LIEFERZUSTAND ETAT DE FORNITURE

Questa classificazione consente di comporre il codice corretto del componente in relazione ai diversi materiali e finiture che INARCA ha previsto per ciascun prodotto. In ogni caso è possibile, secondo richiesta specifica del cliente, usare materiali e finiture differenti da quelle proposte.

Oltre ai terminali metallici e agli involucri per l’isolamento dei componenti, l’azienda progetta anche i sistemi di produzione (*stampi e presse*) e le *macchine utensili* per l’applicazione dei terminali le quali possono essere *manuali, semiautomatiche ed automatiche*.

In conclusione possiamo dire che il lavoro di INARCA parte dalla materia prima (metalli e plastica) per arrivare alla commercializzazione del prodotto pronto all’utilizzazione finale, seguendo e controllando tutti i processi produttivi intermedi.

1.2.2 Qualità e certificazioni

INARCA è un’azienda organizzata interamente per garantire che tutti i processi produttivi e le metodologie operative rispondano a precisi standard di qualità e sicurezza, confermati dalla *certificazione ISO 9001* acquisita nel 1994. Per rispettare questi standard internazionali è stata promossa una specifica *Politica per la Qualità*: l’azienda infatti ritiene fondamentale l’attuazione di un adeguato ed efficiente *Sistema di Gestione Aziendale della Qualità* per garantire la gestione di un approccio per processi, tale da:

- poter assicurare il raggiungimento degli obiettivi aziendali;
- incrementare il valore dell’organizzazione e della sua competitività;
- migliorare continuamente il suo processo produttivo;

INARCA riconosce quindi che il miglioramento continuo delle proprie prestazioni conduce a significativi vantaggi commerciali ed economici e che la *Politica per la Qualità* costituisce una parte

importante della strategia dell'organizzazione, per poter garantire la capacità di affrontare in modo qualificato qualsiasi sviluppo. L'azienda si impegna pertanto a riesaminare i requisiti conseguiti per individuare le opportunità di miglioramento del servizio, dell'organizzazione e dell'efficacia del Sistema di Gestione della Qualità.

INARCA intende raggiungere i traguardi sopra indicati impegnandosi a:

- assicurare che i prodotti fabbricati corrispondano ai massimi livelli qualitativi delle esigenze internazionali;
- istituire e mantenere un efficace Sistema di Gestione per la Qualità, secondo i requisiti della norma UNI EN ISO 9001;
- coinvolgere nella crescita aziendale tutto il personale formandolo ed informandolo sugli obiettivi da perseguire e sui risultati ottenuti nell'ambito del Sistema di Gestione per la Qualità, affinché la Politica per la Qualità sia capita, applicata e mantenuta a tutti i livelli;
- assicurare la formazione e l'addestramento al fine di garantire che il personale, in relazione all'attività svolta, abbia adeguata competenza e sensibilità;
- garantire un efficiente controllo dei prodotti, in modo da assicurarne la conformità a specifiche prescrizioni elaborate secondo gli ultimi sviluppi della tecnica, per ottemperare alle richieste del cliente e per il pieno soddisfacimento delle sue esigenze;
- introdurre ed analizzare costantemente indicatori aziendali al fine di valutare oggettivamente i risultati ottenuti dal Sistema di Gestione per la qualità;
- definire gli obiettivi per un miglioramento continuo delle proprie prestazioni;
- riesaminare periodicamente la Politica per la qualità per accertarne la sua continua idoneità.

Oltre alle numerose *Normative Internazionali* per garantire la qualità dei prodotti e favorire il dialogo tra fornitori e utilizzatori, sono stati sviluppati diversi standard industriali. Un esempio è l'*American Society of Testing and Measurement (ASTM)*, che presenta un'estensiva lista di norme e raccomandazioni relative ai contatti elettrici e specialmente alle leghe metalliche, alle metodologie di test e alle pratiche di misura raccomandate. Anche l'*Electronic Industries Association (EIA)* ha una lista di standard relativi al contatto elettrico. Molti degli standard di queste due associazioni sono riconosciuti, e approvati, anche dall'*American National Standards*. Per i prodotti relativi agli elettrodomestici di largo consumo, i sistemi di connessione vengono testati ed elencati assieme al prodotto sotto l'approvazione di enti come gli *Underwriter Laboratories (UL)*, la *VDE* e la *CCC*, solo per citarne alcune. Per connettori nel campo meccanico/automobilistico ci sono numerose specificazioni, *SAE* e *ISO*, applicabili.

Oltre alle certificazioni internazionali, molti dei prodotti di INARCA hanno ottenuto l'omologazione da parte degli *Enti di Certificazione Industriale* (organizzazioni dette "no profit") quali: VDE, UL e CSA, i marchi sono riportati in **Figura 1.3**:



Figura 1.3 – Marchi di omologazione dei prodotti di INARCA.

Queste importanti certificazioni sono state ottenute grazie al fatto che tutti i prodotti sono costruiti secondo le prescrizioni dettate dai principali enti di normalizzazione internazionale e industriale, a garanzia di assoluta qualità; questo risulta indispensabile per poter esportare i prodotti in tutto il mondo. L'azienda può contare anche su apparecchiature altamente tecnologiche e precise per il controllo e l'analisi dei prodotti e di tutti i materiali impiegati.

INARCA ritiene fondamentale che il suo sviluppo deve avvenire in modo compatibile con la salvaguardia dell'ambiente ed è consapevole del fatto che l'impegno per la tutela dell'ambiente sia essenziale per il suo successo e per la soddisfazione dei propri clienti. Tale impegno è stato evidenziato dalla certificazione del *Sistema di Gestione* secondo la norma *UNI EN ISO 14001*, ottenuta nel 2006.

2. Teoria della connessione elettrica

La teoria di base per lo studio delle connessioni elettriche parte dal fatto che tutte le superfici, se esaminate con un ingranditore, non appaiono corrispondenti alla definizione geometrica ideale (fornita dal disegno tecnico) in quanto presentano delle imperfezioni, costituite da solchi e creste sorte per esempio durante le lavorazioni alle macchine utensili. Tali imperfezioni superficiali sono deviazioni microgeometriche rispetto alle superfici nominali o ideali e vengono definite con il termine di *rugosità*. La rugosità superficiale è dovuta alla struttura cristallina del materiale di cui è fatto l'oggetto in esame e ne condiziona moltissime caratteristiche meccaniche. Per queste ragioni, la rugosità è un parametro da tenere in considerazione e da definire in maniera oggettiva, essa si prescrive infatti mediante il parametro R_a , misurato in μm , che è fornito dal valore medio delle ordinate y , prese in valore assoluto, degli scostamenti del profilo rilevato (profilo reale della superficie) rispetto alla linea media all'interno della lunghezza di base L . In altri termini, R_a si esprime con la relazione:

$$R_a = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |y(x)| \cdot dx \quad (2.1)$$

Questa definizione di rugosità è stata valutata immaginando di sezionare la superficie con un piano ad essa ortogonale. Questo piano, detto "piano di rilievo", intersecando la superficie definisce il "profilo reale" come intersezione nello spazio delle due superfici; il tutto è riportato in **Figura 2.1**.

Il rilievo della rugosità viene eseguito con un apparecchio detto *rugosimetro*, che ispeziona la superficie con un sottile tastatore e registra le irregolarità riportandole su un diagramma (o su un display) dopo un'opportuna amplificazione.

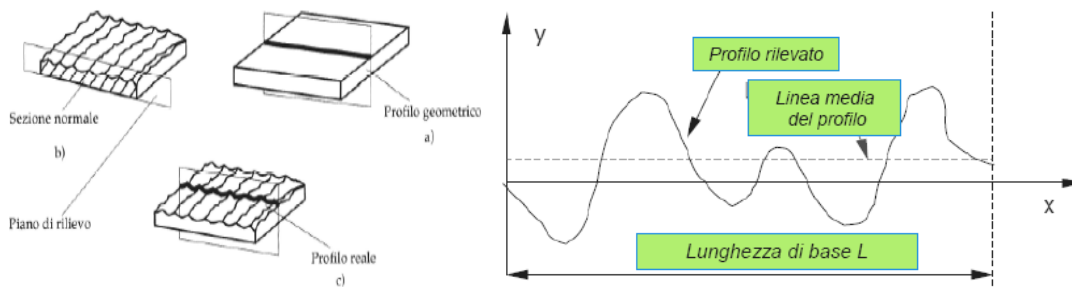


Figura 2.1 – Definizione della rugosità di una superficie.

Una volta assimilato il concetto di rugosità superficiale è immediato capire che l'accoppiamento di due superfici avrà contatto solo attraverso le asperità che si toccano. Tale contatto si stabilisce solo su un grande numero di microaree superficiali, leggermente prominenti, chiamate *a-spots*.

Un qualsiasi connettore elettrico richiede una certa *stabilità meccanica* ed una *stabilità elettrica*; quest'ultima deve essere garantita da accettabili valori della *resistenza di contatto* associabile all'interfaccia tra due corpi separabili. La stabilità meccanica invece, deve essere garantita dalla *forza di contatto*, la quale permette l'aderenza tra le due superfici. La forza di contatto influisce sui valori della resistenza di contatto e sulla *forza di inserzione*, la quale è una forza generalmente parallela al contatto (tranne per contatti "striscianti" e a "tulipano"), che si oppone all'inserimento e al disinserimento; tale forza deve garantire la separabilità e la durabilità della connessione.

2.1 Definizione della resistenza di contatto

La corrente elettrica, che attraversa l'interfaccia di contatto, è costretta a passare solamente attraverso punti discreti della superficie, che sono gli *a-spots* di effettivo contatto tra le due superfici. Nel passaggio attraverso questi punti, le linee di flusso della corrente vengono inevitabilmente distorte e tendono ad addensarsi proprio in corrispondenza degli *a-spots*, causando un aumento della resistenza elettrica (vedi **Figura 2.2**). La resistenza elettrica R_c associata a tale fenomeno viene detta *resistenza di costrizione*, tuttavia essa non è la sola da tenere in considerazione per valutare la resistenza effettiva di contatto; infatti le superfici di entrambi i corpi sono spesso rivestite da strati contaminati od ossidi, i quali forniscono un contributo non trascurabile alla resistenza globale di contatto. La resistenza elettrica R_f associata a tale fenomeno viene detta *resistenza di film*. Ne consegue che l'effettiva resistenza di contatto R è data dalla somma della resistenza di costrizione e della resistenza di film: $R = R_c + R_f$.

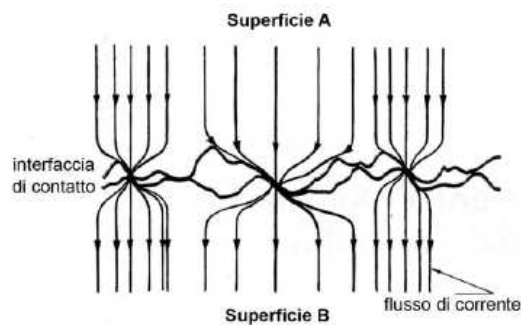


Figura 2.2 – Distorsione delle linee di corrente dovute agli *a-spots* di contatto.

In definitiva ci sono due tipi di resistenza che la corrente elettrica incontra nel suo percorso: la *resistenza di massa*, che è la resistenza del materiale lungo il percorso e la resistenza di contatto, definita precedentemente come il valore di resistenza presente all'interfaccia tra i due corpi.

La resistenza di massa R_m è immediatamente calcolabile tramite la seguente relazione, sapendo che ρ è la resistività elettrica del materiale, l la lunghezza del terminale ed S la sua sezione:

$$R_m = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (2.2)$$

L'ottimizzazione della resistenza di massa passa attraverso la scelta di materiali con minore resistività e forma geometrica adatta (percorsi elettrici più corti e con diametri maggiori favoriscono lo scorrimento degli elettroni) ma deve tenere conto anche dei parametri meccanici ed economici.

Per quanto riguarda invece la resistenza di contatto la valutazione è più complessa, essendo definita dalla somma di due resistenze associate a fenomeni fisici diversi.

2.1.1 Resistenza di costrizione

La resistenza di costrizione di un'interfaccia elettrica è legata ai punti di reale contatto tra i due metalli considerati. In base alla geometria degli a-spots di effettivo contatto vi sono diverse formulazioni della resistenza di costrizione. La valutazione analitica più semplice di tale resistenza assume che gli a-spots siano circolari; tale ipotesi assicura una descrizione accettabile, nel caso che vengono spesso prese in esame superfici di contatto caratterizzate da una rugosità isotropa. Nel caso invece di rugosità anisotrope, soprattutto per rugosità che sono considerate direzionali, tale ipotesi non regge più e la valutazione della resistenza di costrizione deve essere più approfondita.

In base alla *teoria di Ragnar Holm* la resistenza di costrizione R_c per un singolo a-spot circolare, con ρ la resistività del materiale e d il diametro dell'asperità di contatto vale:

$$R_c = \frac{\rho}{d} \quad (2.3)$$

Questo risultato è valido se il contatto è monometallico, cioè se i due elementi in contatto sono costituiti dallo stesso metallo; considerando invece un contatto tra elementi di metalli diversi caratterizzati rispettivamente da resistività ρ_1 e ρ_2 , la resistenza elettrica di costrizione diventa:

$$R_c = \frac{(\rho_1 + \rho_2)}{2d} \quad (2.4)$$

E' interessante valutare la grandezza della resistenza di costrizione in funzione del raggio dell'a-spot per una costrizione circolare in una interfaccia di contatto rame-rame (la cui resistività è $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$ a 20 °C). I risultati sono esposti in **Tabella 2.1**:

raggio a-spot (μm)	resistenza di costrizione (Ω)
0.01	0.88
0.1	$8.8 \cdot 10^{-2}$
1	$8.8 \cdot 10^{-3}$
10	$8.8 \cdot 10^{-4}$

Tabella 2.1 – Resistenza di costrizione in base alle diverse dimensioni degli a-spots.

Si deduce quindi che l'area di contatto effettiva deve essere sufficientemente elevata per garantire un contatto elettrico caratterizzato da una resistenza sufficientemente bassa.

La resistenza elettrica di costrizione può essere considerata dovuta ad una costrizione circolare in un conduttore cilindrico di raggio R , può essere quindi calcolata come soluzione di un'equazione di Laplace applicando appropriate condizioni al contorno. Si ottiene che un'approssimazione accurata della resistenza di costrizione elettrica è data dalla relazione (con a che rappresenta il raggio della costrizione):

$$R_c = \frac{\rho}{2a} \left[1 - 1,41581 \left(\frac{a}{R} \right) + 0,06322 \left(\frac{a}{R} \right)^2 + 0,15261 \left(\frac{a}{R} \right)^3 + 0,19998 \left(\frac{a}{R} \right)^4 \right] \quad (2.5)$$

Tale espressione si riduce all'equazione 2.3 definita in precedenza quando il raggio della costrizione diventa piccolo in rapporto al raggio R del conduttore cilindrico.

E' possibile verificare la validità della relazione appena definita confrontando i risultati teorici con delle misure sperimentali. E' stato osservato come i dati sperimentali si avvicinano molto ai valori stimati; questo garantisce l'accuratezza della formula su tutto il campo di indagine e soprattutto quando il rapporto a/R tende all'unità. In tali applicazioni l'accuratezza è molto importante per stimare correttamente le dissipazioni di potenza, dal momento che piccole variazioni del raggio provocano grandi variazioni della resistenza e di conseguenza grande dissipazione di potenza.

La geometria degli a-spots è direttamente correlata al tipo di lavorazione subita dal materiale utilizzato per realizzare il contatto. Quando la micro-morfologia della superficie risulta essere non isotropa, l'ipotesi di trattare gli a-spots come circolari non è più valida ai fini della determinazione della resistenza di costrizione. Sono stati formulati diversi studi in materia e risulta interessante mettere a confronto i diversi risultati ottenuti per la resistenza di costrizione a seconda della geometria degli a-spots che si sono generati nel contatto. Per poter ottenere un confronto oggettivo è stato scelto di mantenere la superficie di contatto come parametro fisso nei diversi casi e di considerare un'interfaccia di contatto rame-rame. I risultati sono esposti in **Tabella 2.2**:

Costrizione tipo	Raggio (μm)	Lunghezza (μm)	Larghezza (μm)	Spessore anello (μm)	Resistenza (Ω)
circolare	5.64				$1.55 * 10^{-3}$
quadrata		10	10		$3.04 * 10^{-3}$
rettangolare		50	2		$0.43 * 10^{-3}$
anello	16.41			1	$0.71 * 10^{-3}$

Tabella 2.2 – Resistenza di costrizione in funzione delle diverse geometrie degli a-spots.

In realtà in una giunzione elettrica tra due corpi in contatto ci saranno numerosi a-spots che garantiscono il passaggio della corrente elettrica da un componente all'altro. Il numero di asperità che entrano in contatto dipende dalla forza normale di carico a cui sono soggetti i due corpi; aumentando tale forza le superfici si avvicinano, creando un più alto numero di aree di contatto tra asperità. Spesso gli a-spots che si vengono a creare risultano raggruppati, formando un'insieme di costrizioni vicine dette *cluster*. A questo punto per considerare l'effettiva resistenza si deve tenere conto della presenza di questi gruppi di a-spots e delle loro dimensioni. Si tenga sempre presente comunque che la presenza di a-spots relativi al contatto meccanico tra i due corpi non è sufficiente a garantire la conducibilità elettrica degli stessi; questo per la presenza di ossidazioni e film isolanti che devono essere

eliminate per consentire un effettivo contatto metallo- metallo e garantire la conduzione della corrente elettrica. Per facilitare la trattazione sono stati esaminati gruppi di a-spot di forma circolare. Prendendo in considerazione il caso di un certo numero n di costrizioni circolari situate all'interno dello stesso gruppo e indicando con D il diametro del gruppo (cluster) stesso è possibile riformulare la resistenza di costrizione come somma di due termini:

$$R_C = \frac{\rho}{n \cdot d} + \frac{\rho}{D} \quad (2.6)$$

Il raggio del cluster di diametro D è definito anche come *raggio di Holm* e indicato con a . Risulta interessante confrontare i valori dei due termini della formula 2.6, facendo crescere progressivamente il raggio degli a-spots. Il risultato è mostrato in **Tabella 2.3**:

Raggio a-spot	Resistenza a-spot($\rho/2ra$)	Raggio di Holm	Resistenza di gruppo($\rho/2\alpha$)	Raggio singolo a-spot equivalente resistenza
(μm)	(Ω)	(μm)	(Ω)	(μm)
0.02	0.3289	5.34	0.0937	1.18
0.04	0.1645	5.36	0.0932	1.94
0.1	0.0658	5.42	0.0923	3.16
0.2	0.0329	5.50	0.0909	4.04
0.5	0.0132	5.68	0.0880	4.94

Tabella 2.3 – Valori della resistenza di costrizione e del raggio di Holm al variare del raggio degli a-spots.

L'area di contatto reale é inferiore di quella nominale di conseguenza gli a-spots generatisi dal contatto tra le asperità dei due corpi devono sostenere una pressione localizzata che è dello stesso ordine di grandezza della forza di reazione dei materiali in contatto. La deformazione che si viene a verificare nell'area di contatto dipende dalla forza normale di carico che viene sviluppata. La deformazione delle asperità potrà essere sia elastica che plastica. La deformazione sarà elastica se la pressione esistente tra le asperità non supera il valore limite secondo la *teoria elastica di Hertz*. Superato tale valore la deformazione delle asperità sarà puramente plastica. E' stato verificato che in caso di contatto tra materiali caratterizzati da diversa durezza, la deformazione plastica dipende dalla forza normale di carico sostenibile dalle asperità del metallo che ha una durezza inferiore. Sotto tale ipotesi è possibile stabilire una relazione tra l'area di contatto meccanico A , la forza normale di carico F applicata all'interfaccia elettrica e la durezza H del materiale meno duro:

$$F = A \cdot H \quad (2.7)$$

L'espressione 2.7 conduce ad una considerazione molto importante: la reale area di contatto meccanico è indipendente dall'area di contatto nominale tra le superfici, essa dipende solamente da due parametri, uno è la durezza dei materiali in esame mentre l'altro è la forza normale di carico cui l'interfaccia elettrica è sottoposta. Supponendo che il numero degli a-spots sia sufficientemente elevato e distribuito all'interno di un raggio di Holm α , allora i dati della Tabella 2.3 dicono che la resistenza di costrizione può essere approssimata come:

$$R_c = \frac{\rho}{2\alpha} \quad (2.8)$$

L'area di contatto meccanico è immediatamente calcolata come $A = \eta \cdot \pi \cdot \alpha^2$, dove η è un coefficiente praticamente uguale all'unità per superfici pulite. Ragionando quindi sull'espressione 2.7 e sulla 2.8 si ottiene che la resistenza di costrizione è definita dalla formula seguente:

$$R_c = \sqrt{\frac{\rho^2 \cdot \eta \cdot \pi \cdot H}{4 \cdot F}} \quad (2.9)$$

2.1.2 Resistenza di film

Come già detto in precedenza, la resistenza di contatto deve tener conto anche del contributo della resistenza di film, detta anche resistenza dello strato contaminato, associata alla presenza di pellicole isolanti che si formano sulla superficie del contatto. Eccetto per le superfici create in vuoto perfetto, tutte le superfici sono contaminate da film superficiali. Questi film possono essere strati di ossido o solfuri, contaminanti ambientali (lubrificanti, acqua), gas adsorbiti (in particolare l'ossigeno), polimeri organici oppure prodotti di corrosione. Sebbene questi film abbiano elevata resistività e ostacolano notevolmente il passaggio della corrente elettrica, se sufficientemente sottili (spessore inferiore a 10^{-10} m = 1 amstrong) possono condurre elettricità grazie all'*effetto tunnel* quanto-meccanico. Tale fenomeno è dimostrato dalle leggi della meccanica quantistica. Nella meccanica classica la *legge di conservazione dell'energia* impone che una particella non possa superare un ostacolo (barriera) se non ha l'energia necessaria per farlo. Questo corrisponde al fatto intuitivo che, per far risalire un dislivello ad un corpo, è necessario imprimergli una certa velocità, ovvero cedergli dell'energia. La meccanica quantistica invece prevede che una particella abbia una probabilità, piccola ma finita, di attraversare spontaneamente una barriera arbitrariamente alta. Infatti, applicando i postulati della meccanica quantistica al caso di una barriera di potenziale in una dimensione, si ottiene che la soluzione dell'*equazione di Schrödinger* all'interno della barriera è rappresentata da una funzione esponenziale decrescente. Dato che le funzioni esponenziali non raggiungono mai il valore di zero si ottiene che esiste una piccola probabilità che la particella si trovi dall'altra parte della barriera dopo un certo tempo t . La resistività dovuta al meccanismo del tunneling quantico è indipendente dalla composizione del film.

La formazione dei punti di contatto tra i due metalli di un'interfaccia elettrica richiede che la pellicola isolante venga precedentemente rotta per mezzo di un meccanismo meccanico. In assenza di una azione meccanica adeguata alla frattura della pellicola, si riesce a raggiungere lo stesso lo scopo attraverso una rottura indotta elettricamente, questo può avvenire in presenza di un campo elettrico sufficientemente elevato applicato all'interfaccia di contatto. Questa frattura, che contemporaneamente produce un contatto metallo-metallo, è stata chiamata *fritting*. Il fritting è un processo che genera e/o allarga un percorso conduttivo nel film isolante. All'inizio gli elettroni sono iniettati nel film intatto, permettendo alla corrente di elettroni di alterare le condizioni del film producendo un canale conduttivo. Successivamente la corrente si allarga e il canale aumenta la sua conduttività.

Indicando con ρ_f ed s rispettivamente la resistività e lo spessore dello strato contaminato e con Σa la sommatoria delle aree occupate dallo strato effettivamente in contatto, il valore della resistenza di film è espresso in modo semplificato dalla seguente relazione:

$$R_f = \frac{\rho_f \cdot s}{\Sigma a} \quad (2.10)$$

Supponendo infine che un sottile strato sia uniformemente distribuito su tutta la superficie, cioè sia $\Sigma a=A$, la resistenza di film può essere formulata nel modo seguente (in questo caso però H tiene conto anche della durezza dello strato contaminato, che in genere per gli ossidi e i solfuri è alta e quindi provoca un aumento della resistenza):

$$R_f = \frac{\rho_f \cdot s \cdot H}{F} \quad (2.11)$$

2.1.3 Effetti dei rivestimenti superficiali

Per ridurre la resistenza di contatto di un'interfaccia elettrica spesso vengono utilizzati dei rivestimenti elettricamente conduttivi realizzati sulle superfici. Tale scopo può essere raggiunto in diversi modi, come per esempio diminuendo la durezza (H) della superficie oppure per mezzo di un rivestimento caratterizzato da una conducibilità elettrica molto elevata rispetto a quella dello strato metallico sottostante, o ancora eliminando le pellicole ossidanti presenti in superficie. I rivestimenti conduttivi hanno anche il compito di proteggere il contatto elettrico, e in particolare le superfici di contatto, dalle ossidazioni, corrosioni e usure meccaniche che si potrebbero verificare nel tempo.

Gli effetti dovuti al rivestimento conduttivo dipendono fortemente dalla sua resistenza elettrica e da come si mette in relazione con la resistenza elettrica dello strato metallico sottostante. Un altro fattore da considerare è il rapporto esistente tra il raggio degli a-spots e lo spessore del rivestimento.

Per spiegare gli effetti del rivestimento superficiale sulla resistenza di contatto vengono trattati di seguito due casi (a e b), considerando che per entrambi valga che il raggio degli a-spots sia dello stesso ordine di grandezza rispetto allo spessore del rivestimento conduttivo. La **Figura 2.3** descrive la distribuzione della corrente elettrica nei due casi di studio.

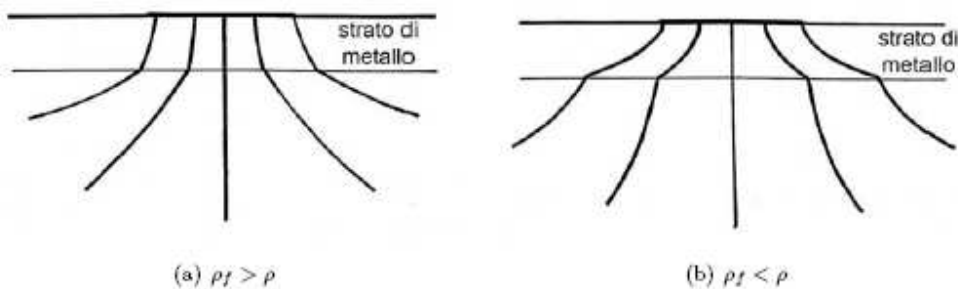


Figura 2.3 – Distribuzione della corrente in una pellicola superficiale conduttiva con raggio della costrizione dello stesso ordine di grandezza dello spessore della pellicola.

Caso a: Nel primo caso supponiamo che la resistenza elettrica del rivestimento sia maggiore rispetto a quella del metallo sottostante. In queste condizioni si ha che la corrente elettrica che transita attraverso la costrizione si diffonde più significativamente nel substrato metallico che non nel rivestimento conduttivo come mostrato in Figura 2.3 (a).

In questa situazione si osserva come nelle immediate vicinanze dell'a-spot la differenza di potenziale nel substrato metallico sia trascurabile rispetto alla differenza di potenziale attraverso la pellicola conduttiva nella direzione normale all'interfaccia pellicola-sottostrato. Quindi tale interfaccia definisce una superficie quasi equipotenziale; la densità di corrente presente nel rivestimento è pressoché

uniforme attraverso l'a-spot. La *resistenza di diffusione* R_d quindi, considerando a il raggio della costrizione e ρ la resistività del substrato metallico, può essere espressa dalla semplice relazione seguente:

$$R_d = \frac{\rho}{4 \cdot a} \quad (2.12)$$

Poiché la corrente passa necessariamente attraverso il rivestimento resistivo di area $\pi \cdot a^2$, spessore s e resistività ρ_f , allora la resistenza dovuta alla pellicola di rivestimento si va a sommare alla R_d ottenendo la totale resistenza di diffusione R_t :

$$R_t = R_d + \frac{\rho_f \cdot s}{\pi \cdot a^2} \quad (2.13)$$

La formula 2.13 può essere riscritta nel modo seguente:

$$R_t = \frac{\rho}{4 \cdot a} \cdot \left(1 + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\rho_f}{\rho} \cdot \frac{s}{a} \right) \quad (2.14)$$

Si vuole rimarcare il fatto che l'equazione 2.14 si riferisce solamente alla resistenza di diffusione dello strato metallico rivestito dalla pellicola conduttiva considerato come una cosa sola. Volendo stimare la resistenza di contatto, misurandola attraverso una sonda apposita, bisogna tenere presente che all'espressione 2.14 va aggiunto il termine relativo alla resistenza di diffusione della sonda stessa. Considerando che il raggio della costrizione non differisce troppo dallo spessore della lamina conduttiva, allora si può affermare che la resistenza di diffusione cresce linearmente rispetto allo spessore del rivestimento.

Quando si supera una certa soglia nello spessore la resistenza di diffusione non si può più considerare governata dalla succitata espressione ma si avvicina al valore $\rho_f/4 \cdot a$ come se lo strato di rivestimento fosse esso stesso uno dei due metalli che si vogliono mettere in contatto. L'equazione 2.14 è utile per osservare che gli effetti della resistenza di costrizione sono mascherati dalla resistenza dello strato metallico quando il prodotto $((\rho_f/\rho) \cdot (s/a))$ è molto più grande dell'unità.

Caso b: Si vuole a questo punto considerare il secondo caso di interesse, quello in cui la resistività dello strato superficiale conduttivo è più piccola rispetto alla resistività del substrato metallico. Come si osserva in Figura 2.3 (b), in questo caso le linee di flusso della corrente elettrica si diffondono meglio all'interno della pellicola superficiale piuttosto che nello strato metallico sottostante. Inoltre la resistenza di diffusione diminuisce all'aumentare dello spessore dello strato conduttivo depositato sulla superficie e si avvicina al valore $\rho_f/4 \cdot a$ quando le dimensioni dell'a-spot sono inferiori rispetto allo spessore della lamina.

In entrambi i casi tuttavia, sia che ρ_f sia maggiore o minore di ρ , l'effetto della lamina superficiale sulla resistenza di contatto è spesso valutato per mezzo del seguente rapporto, in cui $P_f(s/a, \rho_f, \rho)$ è detto *Plating Factor* e ρ_{eff} è la resistività effettiva del substrato metallico rivestito (quindi $\rho_{eff} = \rho$ se $s = 0$):

$$P_f(s/a, \rho_f, \rho) = \frac{(\rho_{eff}/4 \cdot a)}{(\rho/4 \cdot a)} = \frac{\rho_{eff}}{\rho} \quad (2.15)$$

In **Figura 2.4** vengono illustrati i due comportamenti del Plating Factor in relazione al rapporto $s/2 \cdot a$. Si noti che P_f tende ad un valore limite per tutti i casi considerati. La resistenza di diffusione di una superficie rivestita è così data da $\rho_f/4 \cdot a$.

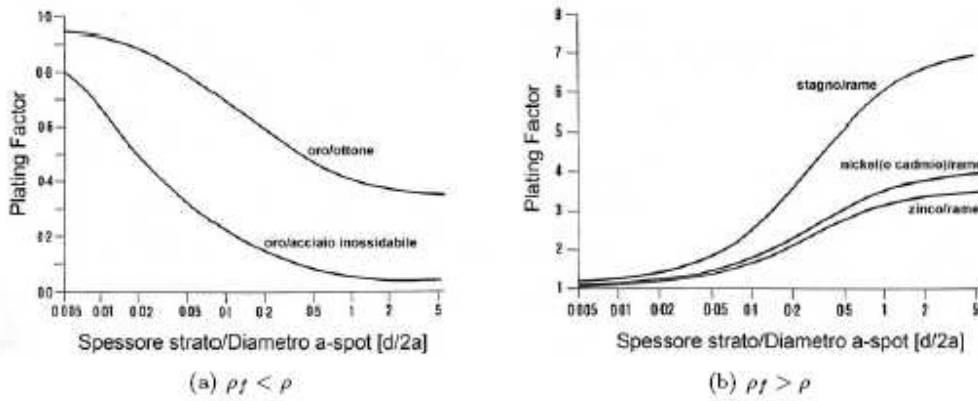


Figura 2.4 – Valori del Plating Factor rispetto al rapporto $s/2 \cdot a$.

Dal punto di vista pratico l'effetto della deformazione della superficie sulla resistenza di contatto R deve essere presa in considerazione. Se le resistività dei materiali che si vogliono mettere in contatto (ad esempio il rivestimento superficiale e la sonda per le misurazioni) sono rispettivamente ρ e ρ_p , e la resistività del materiale rivestito è $\rho \cdot P_f$, allora dall'equazione 2.9 si ricava immediatamente il valore della resistenza di contatto come (H è sempre la durezza del materiale meno duro nell'interfaccia elettrica):

$$R = \left(\frac{\rho_p + \rho \cdot P_f}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot \pi \cdot H}{4 \cdot F}} \quad (2.16)$$

Si ricordi anche che il P_f diventa esso stesso una funzione di F dal momento che le dimensioni degli a-spots nell'interfaccia elettrica dipendono da F .

Dopo aver definito l'influenza dei rivestimenti conduttivi sulla resistenza di contatto, è fondamentale valutare anche l'ulteriore contributo dato dalla resistenza di film. La resistività delle pellicole che contaminano le superfici in contatto è ovviamente molto più grande rispetto alla resistività dei metalli che realizzano la connessione. La trattazione viene effettuata quindi seguendo i ragionamenti che hanno portato alla formulazione dell'espressione 2.13 (caso a). La resistenza di film contaminate è data dall'espressione 2.11 (con ρ_{cont} ed s_{cont} rispettivamente resistività e spessore dello strato contaminato), che aggiunta all'espressione 2.16 consente di definire la totale resistenza di contatto elettrico, che ingloba l'effetto del rivestimento conduttivo, l'effetto della costrizione e l'effetto dovuto alla presenza della pellicole contaminanti:

$$R = \left(\frac{\rho_p + \rho \cdot P_f}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot \pi \cdot H}{4 \cdot F}} + \frac{\rho_{cont} \cdot s_{cont} \cdot H}{F} \quad (2.17)$$

Questa espressione è molto usata a livello pratico per interpretare le misure relative alla resistenza di contatto. Le proprietà elettriche di contatto, utili per valutazioni sulle pellicole di rivestimento per i connettori, sono genericamente misurate attraverso l'applicazione di una sonda metallica sullo strato superficiale e registrando i dati relativi alla resistenza di contatto in funzione della forza applicata.

2.1.4 Influenza della temperatura

La definizione di resistenza di costrizione data fino a questo momento dalla 2.3 continua ad essere valida fino al momento in cui la corrente elettrica che passa attraverso la costrizione è sufficientemente bassa per cui gli effetti del calore sulla resistenza di contatto sono trascurabili. In queste condizioni, la differenza di potenziale attraverso la costrizione prodotta da una corrente I è semplicemente data dall'espressione $I \cdot \rho / d$. Qualora significative perdite joule vengano prodotte all'interno della costrizione, l'elevato numero di linee di corrente elettrica nel punto di contatto genera un gradiente termico che è normale alla costrizione stessa. L'effetto che ha questo gradiente è importante poiché complica la relazione tra la differenza di potenziale, la corrente e le dimensioni degli a-spot. Dal momento in cui viene fatta passare la corrente, la temperatura cresce fino a portarsi al valore di equilibrio molto velocemente.

Si consideri, a titolo di esempio, una costrizione circolare di raggi a situata tra due conduttori di lunghezza semi-infinita, di uguale resistività elettrica e conduttività termica rispettivamente ρ e λ . Supponendo che questi parametri siano indipendenti dalla temperatura, l'equazione differenziale che descrive il fenomeno, in coordinate sferiche (r, θ) , è la seguente (con J che rappresenta la densità di corrente in coordinate sferiche e c il calore specifico per unità di volume):

$$\lambda \cdot \left[\frac{\partial^2 \cdot T}{\partial \cdot r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \cdot T}{\partial \cdot r} + \left(\frac{1}{r \cdot \sin \vartheta} \right)^2 \cdot \frac{\partial^2 \cdot T}{\partial \cdot \vartheta^2} \right] = c \cdot \frac{\partial^2 \cdot T}{\partial \cdot t^2} + \rho \cdot J^2 \quad (2.18)$$

La soluzione analitica è data da:

$$T = \frac{A \cdot \exp^{\frac{-c \cdot r^2}{4 \cdot \lambda \cdot t}}}{c \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot t}{c} \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.20)$$

Nelle vicinanze della costrizione ($r \sim a$) la costante di tempo con cui la temperatura sale è $c \cdot a / 4 \cdot \lambda$. Per esempio nel caso di conduttori elettrici come rame ed alluminio si trova che la costante di tempo è rispettivamente $2,2 \cdot 10^{-7}$ e $2,6 \cdot 10^{-7}$ secondi, considerando una costrizione di raggio $10 \mu\text{m}$. Data la costante di tempo notevolmente piccola per il riscaldamento dell'a-spot, spesso si può considerare trascurabile il transitorio termico specialmente nei casi di contatti stazionari o a movimenti lenti. In questi casi si fa riferimento solo alla temperatura di equilibrio.

Per considerare la relazione che intercorre tra il potenziale elettrico e la temperatura dei punti di contatto riscaldati alla temperatura di equilibrio, bisogna prima fare delle ipotesi per trattare l'argomento in modo convenzionale. Si supponga quindi che la superficie esterna dei conduttori sia isolata termicamente dall'ambiente che la circonda e che il calore prodotto all'interno di un a-spot possa essere dissipato solo per conduzione termica tra i corpi in contatto. Sotto queste ipotesi le linee di flusso della corrente elettrica e quelle termiche seguono lo stesso percorso, e quindi le superfici del potenziale elettrico e le superfici isoterme coincidono. Si ricava quindi la relazione tra la differenza di potenziale V attraverso il punto di contatto e la temperatura massima T_m nell'interfaccia di contatto. Considerando ρ e λ rispettivamente la resistività elettrica e la conduttività termica dei conduttori; i pedici numerati indicano a quale dei due conduttori si riferiscono T_1 e T_2 che sono le temperature interne dei due corpi in contatto. La relazione succitata è la seguente:

$$V = \sqrt{2 \cdot \int_{T_1}^{T_m} \lambda_1 \cdot \rho_1 \cdot dT} + \sqrt{2 \cdot \int_{T_2}^{T_m} \lambda_2 \cdot \rho_2 \cdot dT} \quad (2.21)$$

Per un contatto monometallico è intuitivo che la relazione 2.21 si riduce nella forma seguente:

$$V = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot \int_{T_1}^{T_m} \lambda \cdot \rho \cdot dT} \quad (2.22)$$

I parametri di resistività e conduttività sono in genere dipendenti dalla temperatura. Dal momento che le linee di flusso della corrente elettrica sono costrette a passare per l'a-spot, di conseguenza anche la temperatura massima T_m si verificherà all'interno dell'a-spot o comunque nelle immediate vicinanze. Considerando un intervallo di temperature in cui i parametri ρ e λ variano poco in funzione della temperatura, l'equazione 2.22 permette di ricavare la relazione *potenziale-temperatura* ($V-T$) per contatti elettrici monometallici:

$$(T_m - T_1) = \frac{V^2}{8 \cdot \lambda \cdot \rho} \quad (2.23)$$

La quantità a primo membro è definita come *sovratemperatura di contatto*, cioè la differenza di temperatura tra l'a-spot e la temperatura interna del conduttore. L'espressione 2.23 è usata spesso nella pratica, soprattutto nel progetto di connettori elettrici per stimare la sovratemperatura dell'interfaccia elettrica durante l'utilizzo. Se la sovratemperatura raggiunge valori troppo grandi la relazione considerata perde la sua validità perché i parametri che erano stati considerati indipendenti dalla temperatura dimostrano invece la loro dipendenza da essa. Si vuole far notare come nelle relazioni ricavate fino ad ora tutti i termini a secondo membro dipendono esclusivamente dai parametri intrinseci dei corpi ρ e λ ma non si fa alcun riferimento alla geometria del contatto. Si può quindi concludere che la relazione $V-T$ vale per i contatti elettrici a prescindere dalla geometria del contatto in questione; tale relazione è valida per qualsiasi corpo termicamente isolato dall'ambiente in grado di condurre corrente elettrica.

Si vuole ora riportare un esempio dimostrativo per spiegare in maniera più esaustiva la relazione $V-T$. Si consideri una barra metallica elettricamente conduttiva di lunghezza $2 \cdot L$ e sezione uniforme A , attraversata da una densità di corrente J . T_0 è la temperatura ai capi della barra, dove il punto O indica il punto medio e l'origine dell'asse x di riferimento. Il tutto è illustrato in **Figura 2.5**:

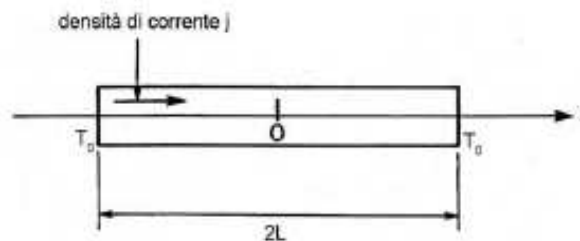


Figura 2.5 – Illustrazione della barra conduttrice a cui fa riferimento l'esempio.

Sia sempre valida l'ipotesi di isolamento termico rispetto all'ambiente. L'equazione differenziale che descrive la distribuzione di temperatura $T(x)$ interna al corpo è la seguente (oltre ai soliti parametri si nota anche la presenza della coordinata x lungo la barra dall'origine in Figura 2.5):

$$\lambda \cdot \frac{d^2 \cdot T(x)}{d \cdot x^2} = -\rho \cdot J \quad (2.24)$$

Continuando ad assumere i parametri ρ e λ indipendenti dalla temperatura, la soluzione dell'equazione differenziale è data da:

$$T(x) = T_0 + \left[\frac{\rho}{2 \cdot \lambda} \cdot J^2 \cdot (L^2 - x^2) \right] \quad (2.25)$$

La temperatura massima si verifica quindi al centro della barra (origine dell'asse x). La differenza di potenziale ai capi della barra è data da:

$$V = 2 \cdot \rho \cdot J \cdot L \quad (2.26)$$

Possiamo quindi definire la sovratemperatura con la seguente espressione:

$$T(0) - T_0 = \frac{V^2}{8 \cdot \lambda \cdot \rho} \quad (2.27)$$

L'espressione 2.27 risulta identica all'espressione 2.23 come era stato previsto all'inizio della trattazione.

Si può ora considerare il caso più reale, in cui la dipendenza della resistività elettrica ρ e della conduttività termica λ con la temperatura non viene trascurata. Tale dipendenza si può esprimere per un largo intervallo di temperature attraverso due funzioni molto simili, dove il pedice 0 indica che i valori sono riferiti alla temperatura di 0°C, mentre α e β sono i rispettivi coefficienti di temperatura. Le due funzioni sono riportate di seguito:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (2.28)$$

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (2.29)$$

Si osservi come all'aumentare della temperatura i due parametri abbiano un comportamento opposto, infatti la resistività elettrica aumenta all'aumentare della temperatura mentre la conducibilità termica diminuisce. Sostituendo la 2.28 e la 2.29 nella 2.21 si perviene alla relazione $V-T$ seguente:

$$V^2 = 8 \cdot \lambda_0 \cdot \rho_0 \cdot \left[(T_m - T_1) + \frac{(\alpha - \beta) \cdot (T_m^2 - T_1^2)}{2} - \frac{\alpha \cdot \beta \cdot (T_m^3 - T_1^3)}{3} \right] \quad (2.30)$$

La relazione 2.30 rimane valida fino a che il diametro medio dell'a-spot è più grande rispetto al cammino libero medio degli elettroni liberi nei corpi in contatto.

Da un punto di vista ingegneristico la relazione 2.30 è difficile da maneggiare ed è quindi necessario trovare una versione più semplice della relazione $V-T$. Per arrivare a questo scopo si deve considerare la *legge di Wiedemann-Franz*, la quale afferma che la variazione di conduttività termica e della resistività elettrica dei metalli con la temperatura è tale che i due parametri sono legati dalla relazione:

$$\lambda \cdot \rho = L \cdot T \quad (2.31)$$

Nella legge di Wiedemann-Franz 2.31, $L = 2,45 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2\text{K}^2$ rappresenta la costante di Lorentz e T la temperatura assoluta. Tale legge è valida se la conduzione termica e la resistività elettrica derivano da un trasporto elettronico nei metalli, quindi non è universalmente valida. Mettendosi nell'ipotesi di validità è possibile riformulare la relazione V - T nel modo seguente:

$$V^2 = 4 \cdot L \cdot (T_m^2 - T_1^2) \quad (2.32)$$

È evidente che la relazione 2.32 risulta indipendente dai materiali che realizzano il contatto. L'utilizzo di tale espressione non è facile in quanto la sovratemperatura ($T_m - T_1$) non può essere calcolata immediatamente dalla differenza di potenziale V .

Risulta interessante mettere a confronto i valori relativi alla sovratemperatura calcolata attraverso le due diverse espressioni 2.27 e 2.32 per valori di potenziale V che generalmente sono considerati essere eccessivi per i contatti elettrici. Si prenda per esempio un contatto rame-rame con temperatura del corpo T_1 di 20°C , alla quale temperatura i parametri ρ e λ valgono rispettivamente $1,75 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ e $380 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$; i risultati sono quindi proposti in **Tabella 2.4**:

Caduta di tensione (V)	Sovratemperatura (1.20) ($T_m - T_1$) ($^\circ\text{C}$)	Sovratemperatura (1.25) ($T_m - T_1$) ($^\circ\text{C}$)
0.005	0.47	0.44
0.01	1.9	1.7
0.02	7.5	6.9
0.03	17	15
0.04	30	27
0.05	47	41

Tabella 2.4 – Confronto tra le sovratemperature calcolate con l'espressione 2.27 (prima colonna) e l'espressione 2.32 (seconda colonna).

Da un punto di vista ingegneristico le differenze sono irrilevanti, questo è il motivo per cui l'espressione 2.27 è spesso usata per la stima della sovratemperatura. L'equazione 2.32 è indipendente dalle particolari proprietà di resistività elettrica e conduttività termica dei materiali in contatto, quindi si applica bene sia al caso monometallico che bimetallico; questo assicura la validità della legge di Wiedemann-Franz a entrambi i possibili tipi di contatto. Tale fatto però non implica che il punto in cui si verifica la temperatura massima sia sull'interfaccia di contatto fisico.

Infine è possibile ragionare sulla possibile distribuzione di temperatura nel terminale, la quale sarà sicuramente più elevata nei punti in cui vi è il maggior numero di linee di flusso della corrente elettrica, cioè nelle costrizioni. Nella realtà le zone di costrizione non sono dovute solamente all'interfaccia di contatto ma dipendono fortemente anche dalla geometria del contatto stesso; si avranno quindi delle zone a temperatura elevata che non sono in corrispondenza di interfacce di contatto tra due conduttori. Questa considerazione è fondamentale quando si deve progettare l'involucro isolante che contiene il connettore (housing).

Ai fini di valutare il comportamento termico dei contatti elettrici vengono utilizzati alcuni sistemi di misurazione come i sensori di temperatura o le più tecnologiche termocamere ad infrarossi.

Sono stati sviluppati anche dei software particolari con i quali è possibile realizzare delle simulazioni, in grado di mostrare la diffusione della corrente elettrica e la mappa termica di un terminale sia in sezione bidimensionale che tridimensionale. Uno di questi programmi di modellizzazione è stato sviluppato dalla *Infolytica Corporation* e si chiama *ElecNet* ed è liberamente scaricabile da qualsiasi utente.

2.1.5 Valutazione della forza normale di contatto

Come si può notare dall'espressione 2.17 la resistenza di contatto R è inversamente proporzionale alla radice quadrata della forza normale di contatto F . Si vuole ora mostrare graficamente questa relazione in **Figura 2.6**, considerando che le superfici di contatto metalliche siano pulite e non presentino impurità.

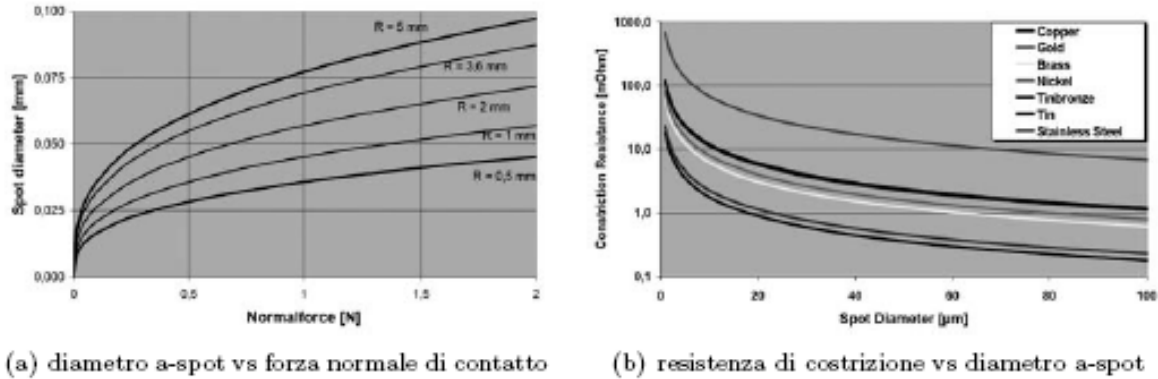


Figura 2.6 – Grafici relativi all'andamento del diametro dei punti di contatto in funzione della forza normale di contatto (a) e all'andamento della resistenza di costrizione in funzione della dimensione del diametro degli a-spots (b).

Dalla Figura 2.6 si può notare come all'aumentare della forza normale di contatto aumenta il diametro e il numero dei punti di contatto che si formano tra le due superfici, di conseguenza diminuisce la resistenza di costrizione. La resistenza di costrizione sarà sempre presente in un'interfaccia elettrica, quindi ci sarà sempre anche una resistenza di contatto; tale resistenza può essere controllata e minimizzata, ma non può essere eliminata. E' chiaro quindi che si può facilmente creare un'interfaccia di contatto elettrico che sia stabile; mentre la durezza dei materiali che si usa è un parametro intrinseco, e dopo la scelta del materiale non può essere modificata, la forza normale di contatto è un parametro progettuale molto importante e può essere scelta in base alle necessità. Quello che effettivamente crea problemi maggiori è riuscire a mantenere nel tempo stabile il contatto elettrico. Supponendo che l'interfaccia sia meccanicamente stabile, e che non ci siano movimenti, allora anche la resistenza di contatto risulta stabile; tale stabilità meccanica è garantita dall'opportuna scelta della forza di contatto da applicare. Si deve tenere presente che aumentando la forza normale di contatto, per avere una buona stabilità meccanica, si rende difficile l'estrazione e l'inserzione e quindi si va a compromettere la durata di vita del componente. La forza di inserzione F_i , già citata in precedenza, risulta dipendente dalla forza normale di contatto F in base alla relazione (dove μ rappresenta il coefficiente di attrito):

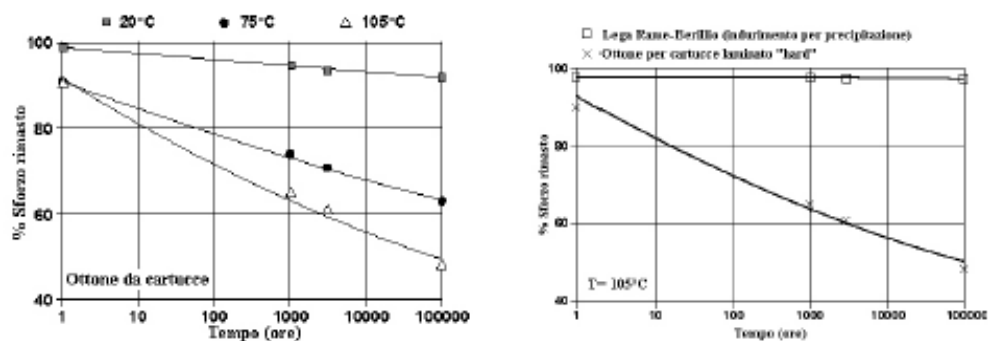
$$F_i = \mu \cdot F \quad (2.33)$$

E' evidente che maggiore è la forza normale maggiore risulta la forza di inserzione. Forze d'inserzione sufficientemente alte su substrati duri hanno un effetto autopulente, ma se tale forza aumenta eccessivamente può comportare usura meccanica e quindi il danneggiamento del contatto.

In base a queste considerazioni è opportuno che la forza normale di contatto non sia troppo alta in modo da non pregiudicare la durabilità e la separabilità del contatto stesso, ma non deve essere neanche troppo bassa poiché deve garantire sufficiente stabilità elettrica e meccanica.

Il fenomeno che tuttavia genera i maggiori disagi nel mantenimento della stabilità del contatto è il *rilassamento* della forza normale. Il rilassamento è direttamente proporzionale alla diminuzione dello sforzo, con il tempo, di un materiale sottoposto costantemente a deformazione. Un esempio di questo

rilassamento dello sforzo è illustrato **Figura 2.7**:



(a) Rilassamento a diverse temperature di lavoro per l'ottone. (b) Confronto tra il rilassamento dell'ottone e una lega di rame e berillio.

Figura 2.7 – Rilassamento degli sforzi dei materiali sottoposti a permanente deformazione.

Dai grafici si capisce che con il passare del tempo la forza di contatto tende a diminuire e la resistenza di contatto tende ad aumentare. Utilizzando però dei materiali adeguati è possibile limitare il rilassamento della forza normale di contatto come si può notare dalla Figura 2.7 (b).

Un ultimo aspetto che influisce notevolmente sulla forza normale di contatto è il tipo di deformazione delle alette di connessione (che costituiscono il connettore) durante l'inserimento del terminale. L'effetto di questo aspetto è mostrato in **Figura 2.8**:

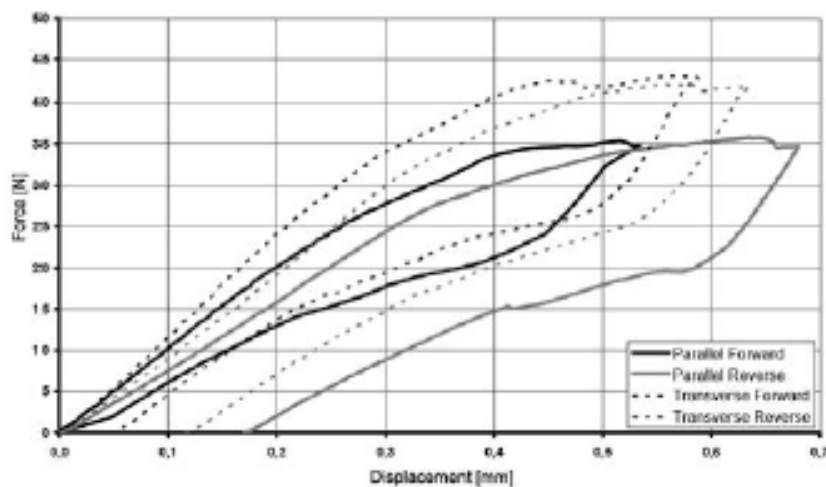


Figura 2.8 – Spostamento delle alette durante l'inserzione e l'estrazione del terminale rispetto alla posizione di riposo in funzione della forza normale di contatto applicata durante l'operazione.

Affinché la forza normale di contatto rimanga il più possibile costante nel tempo è necessario che la deformazione delle alette durante l'operazione di inserzione sia puramente elastica. Infatti, solo in questo modo, le alette tornano alla posizione di riposo e non varia, in modo permanente, la loro forma dopo l'estrazione. La forza di contatto che si avrà al successivo inserimento sarà pressoché uguale a quella del precedente, senza perdite di forza in aggiunta a quelle relative al rilassamento degli sforzi.

2.2 Problemi inerenti ai contatti elettrici

Nella precedente sezione sono stati definiti i parametri progettuali e fisici che possono influenzare la resistenza di contatto. Oltre ai fattori sopracitati esistono anche dei meccanismi deterioranti che possono modificare il valore della resistenza di contatto, andando così a pregiudicare la stabilità elettrica e quindi l'affidabilità del contatto. L'obiettivo principale nella progettazione di un connettore elettrico è quello di creare e mantenere stabile un'interfaccia di contatto metallico contro tutte le potenziali degradazioni che si potrebbero manifestare sul campo.

Le scelte progettuali di disegno e i materiali determinano una lunga lista di cose che effettivamente potrebbero non andare a buon fine durante l'utilizzazione del prodotto, cioè una lista di potenziali meccanismi di degrado. Tra gli elementi di questa lista quelli che effettivamente si verificano dipendono dall'ambiente di lavoro e dalle condizioni ambientali in cui il connettore si trova a lavorare. Quanto un possibile degrado può essere tollerato dipende infine dalle esigenze di utilizzo, cioè dal lavoro specifico che viene richiesto; infatti sistemi elettronici differenti riescono a tollerare differenti variazioni della resistenza di contatto prima che non possano più operare. Spesso il livello di degrado che può essere tollerato dipende in modo significativo dalle esigenze relative al passaggio della corrente elettrica: per basse correnti, da microampere a pochi ampere, si possono sopportare variazioni dell'ordine del milliohm, mentre per elevate correnti i connettori di potenza si possono guastare per variazioni dell'ordine dei microhm.

Nella discussione dei potenziali meccanismi di degrado si prenderanno in considerazione solo quelli che riducono l'area di effettivo contatto metallico. Questi meccanismi sono l'usura, la corrosione, i micromovimenti di contatto (*fretting*) e l'ossidazione.

2.2.1 Usura

Il fenomeno dell'usura è strettamente legato ai rivestimenti conduttivi che sono depositi sulla superficie del contatto. Il rivestimento, oltre a ottimizzare le proprietà di interfaccia, ha funzioni protettive verso il metallo base quindi è importante evitare fenomeni di usura che asportano il materiale superficiale ed espongono il substrato all'ambiente esterno.

Il termine usura indica la rimozione forzata del materiale di contatto quando avvengono azioni di strisciamento. La rimozione di materia può essere un risultato di fenomeni di trasferimento (trasferimento di materia da una superficie all'altra) o di staccamento di particelle (detriti). I meccanismi di usura principali quindi sono:

- *usura abrasiva (burnishing wear)* che avviene o quando un materiale è molto più duro dell'altro o quando tra i due corpi a contatto si interpongono particelle molto più dure che possono asportare particelle da entrambi i materiali;
- *usura adesiva (adhesive wear)* che è il risultato di microgiunzioni a freddo tra le due superfici e l'indebolimento per deformazione plastica di una delle due parti. La parte più debole quindi aderisce a quella più forte e viene trasportata via. Questo meccanismo è dipendente dalla forza di contatto, quindi maggiore è la forza più le superfici sono suscettibili a questo tipo di usura.

Nel caso di materiali a comportamento fragile si può avere usura abrasiva per frammentazione superficiale. In ogni caso sullo stesso strato protettivo si possono avere entrambi i tipi di usura.

Nella pratica i principali meccanismi che provocano l'usura in un connettore elettrico sono lo scivolamento reciproco delle due superfici di contatto durante l'inserzione e l'estrazione ed il fenomeno del *fretting* che si verifica durante il funzionamento del connettore (al quale sarà dedicato un intero paragrafo).

La **Figura 2.9** illustra i due meccanismi di usura citati precedentemente:

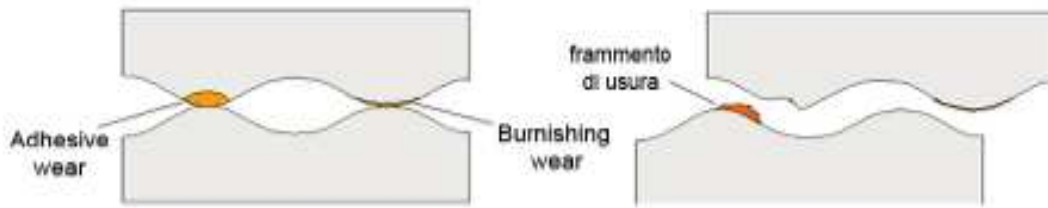


Figura 2.9 – Schematica illustrazione delle asperità in contatto in un'interfaccia elettrica.

Tutti i tipi di usura sono descritti dall'*equazione di Archard*, in cui V è il volume dei frammenti di usura, cioè il volume di metallo che si è staccato dall'interfaccia durante un singolo evento di spostamento, k è il coefficiente di usura, F è il carico applicato (nel caso dei connettori elettrici è la forza di contatto), L è la lunghezza del movimento durante l'evento di usura e H è la durezza del metallo in contatto. L'equazione di Archard è riportata di seguito:

$$V = \frac{k \cdot F \cdot L}{H} \quad (2.34)$$

I parametri F, L, H che sono presenti nell'equazione possono essere considerati noti. La forza di contatto F infatti è un parametro progettuale. L è la lunghezza di ingaggio durante l'accoppiamento del terminale elettrico o l'ampiezza delle oscillazioni durante i movimenti di fretting, a seconda dei diversi casi. Mentre la lunghezza di ingaggio del terminale è un parametro di progetto, quindi noto a priori, l'ampiezza delle oscillazioni di fretting dipende da molte variabili e pertanto non può essere nota. La durezza H presente nell'espressione è la durezza intrinseca dei metalli se i due elementi in contatto sono dello stesso materiale, se invece si hanno due metalli differenti in contatto H sarà una durezza composita.

Un parametro da trattare in maniera più approfondita è il volume V . Ciò che interessa nello studio dell'usura dei terminali è la perdita di spessore delle pellicole di rivestimento conduttive durante ogni azione di movimento del contatto. Si può quindi ricavare V dal prodotto $A \cdot t$, dove A è la superficie dell'interfaccia di contatto e t è lo spessore del materiale rimosso, che dipende dalla geometria del contatto.

Rimane da analizzare adesso il parametro k , che è una variabile dipendente da molteplici parametri: quali la forza di contatto F , la durezza H , la geometria di contatto, la rugosità della superficie e lo stato di lubrificazione delle superfici in contatto. Tuttavia per i connettori che non presentano lubrificazione iniziale si può dire che il grado di lubrificazione superficiale dipende fortemente dall'ambiente in cui il connettore si trova a lavorare. Il parametro più rilevante rimane, anche in questo caso, la forza normale di contatto. Sempre analizzando il parametro k possiamo affermare che un cambio nei processi di usura, ovvero nel passaggio da un meccanismo di usura abrasiva ad un meccanismo di usura adesiva, si riscontra un significativo aumento di questo coefficiente. Tale aumento non avverrà in modo continuo, infatti oltre un certo limite di forza di contatto l'aumento sarà molto evidente, essendo tale forza strettamente legata al meccanismo di usura adesiva. Si torna quindi a dover riflettere sul necessario compromesso per la scelta della forza di contatto opportuna che sia in grado di conciliare i vari aspetti in gioco e quindi di ottimizzare il progetto del terminale elettrico preso in esame.

2.2.2 Corrosione

L'aspetto della corrosione riguarda in particolare l'affidabilità di connettori elettrici che usano un rivestimento metallico nobile, ad esempio l'oro. Per definizione un metallo nobile è un metallo che non avvia nessun processo di corrosione. Sebbene questa affermazione sia valida, non è detto che i connettori elettrici placcati in oro non siano suscettibili alla corrosione. Questa tipologia di contatti presenta una superficie di rivestimento in oro e un substrato in nickel sopra la base metallica delle alette di contatto, che generalmente è una lega rame-zinco (ottone). Il metallo di base assicura le caratteristiche necessarie alle alette per ottenere un buon accoppiamento del connettore. La fonte di una possibile corrosione è la lega di zinco-rame. Lo zinco infatti reagisce con l'ossigeno, lo zolfo e il cloro che sono componenti spesso presenti in ambienti dove i connettori vengono utilizzati. Quindi in relazione a tale predisposizione alla corrosione è necessario un progetto che tenda ad eliminare il verificarsi del fenomeno o almeno a limitarne gli effetti.

Se i produttori potessero permettersi il lusso di ricoprire interamente le alette di contatto con cinque micron di oro, la corrosione non sarebbe un problema nel campo dei connettori elettrici. Il contenimento dei costi, tuttavia, obbliga a placcature di spessore inferiore, tipicamente dai 0,25 ai 0,75 μm , con il rivestimento solo sull'interfaccia di contatto e non sull'intero terminale. Questa necessità economica introduce due possibili cause per il manifestarsi del fenomeno della corrosione dovuto all'esposizione della base metallica: esposizione della lega rame-zinco ed esposizione della lega ai margini del rivestimento. Le placcature sottili possono provocare l'esposizione della lega rame-zinco qualora si verificassero defezioni nel rivestimento d'oro. Questi problemi vengono risolti grazie alla realizzazione di un substrato di nickel interposto tra il metallo base ed il rivestimento in oro. In **Figura 2.10** viene schematizzata la situazione in presenza e in assenza del substrato di nickel:

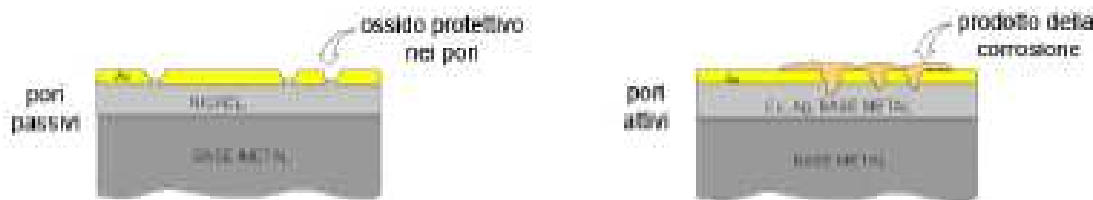


Figura 2.10 – Contrapposizione di due soluzioni per i connettori elettrici placcati in oro.

Qualsiasi difetto nel rivestimento d'oro in assenza di un substrato di nickel provoca l'esposizione della lega di rame-zinco. I difetti nel rivestimento includono porosità e coperture incomplete dovute a contaminazioni e graffi. La possibilità di incontrare uno di questi difetti aumenta con il diminuire dello spessore dell'oro. Si vuole quindi osservare come i solfuri di zinco, prodotti dalla corrosione, migrano attraverso i pori e strisciano sopra la superficie metallica (come mostrato in Figura 2.10) aumentando il valore della resistenza di contatto e compromettendo il funzionamento del contatto elettrico.

L'uso del nickel come substrato evita la corrosione e riduce lo strisciare dei prodotti della corrosione sopra la superficie di placcatura. Il nickel forma un ossido molto fino che non migra attraverso i pori del materiale; ne consegue che il substrato di nickel funge da barriera e impedisce ai prodotti della corrosione dovuti allo zinco di andare a contaminare la superficie di contatto. Poiché la velocità di migrazione aumenta con la temperatura, si ha un ulteriore aspetto favorevole per la presenza del nickel se le temperature di lavoro raggiungono valori elevati. Dal punto di vista dell'affidabilità il substrato di nickel risulta quindi indispensabile contro questa tipologia di fenomeni di corrosione.

2.2.3 Fretting

Il fenomeno del fretting è legato alle piccole vibrazioni che si vengono ad avere durante il funzionamento del connettore, esse sono dovute principalmente a disturbi meccanici (soprattutto vibrazioni) oppure ad espansioni termiche. Il fretting è sostanzialmente un effetto di corrosione del contatto che avviene a causa di micromovimenti ripetitivi che vanno da qualche micron a qualche decina di micron. Questo fenomeno è da tenere in considerazione principalmente nella fase di collaudo dei terminali, ai fini di assicurare la stabilità elettrica e quindi di contenere la resistenza di contatto a valori accettabili.

I principali connettori che risentono del degrado provocato dal fretting sono quelli placcati con lo stagno. Lo stagno è infatti un materiale molto soffice e duttile, che presenta sempre uno strato sottile di ossido molto duro e fragile (dell'ordine di un centesimo di micron) sulla sua superficie. Sebbene lo strato di ossido sia un semiconduttore, quindi in realtà permetta il passaggio di corrente, la caratteristica di una struttura dura sopra una struttura soffice di stagno permette, come si vede in **Figura 2.11**, la rottura e lo spostamento del sottile strato di ossido di stagno, in modo che si possa venire a formare un contatto tra le due superfici. Il risultato è un contatto metallo-metallo, e una bassa resistenza di contatto. Il meccanismo di spostamento è semplice: l'ossido di stagno, essendo fragile e sottile, non riesce a sopportare la forza applicata, così l'ossido si crepa e il carico si trasferisce al sottostante strato di stagno. Il potenziale problema è quello di riuscire a mantenere il più costante possibile la resistenza di contatto nelle condizioni di corrosione da fretting.



Figura 2.11 – Illustrazione schematica di un'interfaccia elettrica placcata in stagno.

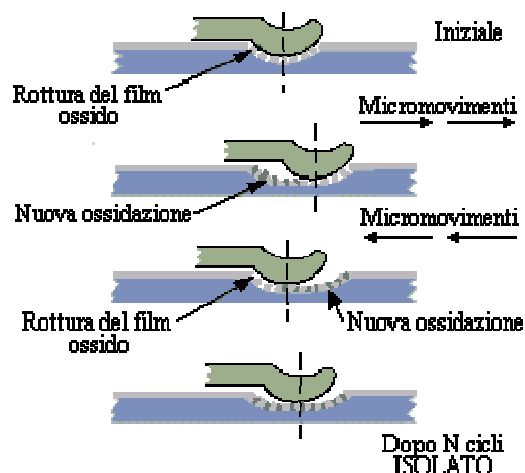


Figura 2.12 – Cinetica del fenomeno di fretting e relativa corrosione.

La **Figura 2.12** illustra invece la dinamica del fretting per stadi, in modo da poter rendere più chiaro il fenomeno. Lo stadio iniziale corrisponde all'applicazione della forza di contatto, cioè all'accoppiamento dei connettori, momento in cui la resistenza di contatto risulta dell'ordine dei milliohm. Quando viene

indotto il movimento sulla superficie di contatto si verifica il fenomeno del fretting, e una nuova interfaccia di contatto si viene a creare nello stesso modo della precedente. Dove si era formata l'interfaccia di contatto originale, lo stagno che era riuscito a formare il contatto metallo-metallo, si trova ora esposto all'aria in quanto l'ossido era stato a tratti rimosso. In quelle zone si viene a formare un nuovo strato sottile dello stesso ossido, e questa è l'effettiva parte di corrosione nel fretting. Se tali spostamenti dell'interfaccia di contatto si susseguono nel tempo, ad ogni ripetizione si vengono a formare detriti di ossido su gran parte dell'area di contatto. Tali detriti si accumulano sia sulla superficie stessa che attorno ad essa. Aumentando il volume dell'ossido si avranno sempre meno asperità utili per il contatto elettrico e di conseguenza la resistenza aumenterà.

Il tasso di crescita della resistenza di contatto dipende da molti fattori, i due più importanti sono la lunghezza dei movimenti di fretting e la forza normale di contatto. L'importanza dell'ampiezza dei movimenti è relativa all'accumulazione dei detriti di ossido sulla superficie di contatto: piccoli spostamenti producono piccoli volumi, ma essi rimangono nell'interfaccia di contatto; aumentando gli spostamenti, aumenta il volume dell'ossido formatosi, ma esso viene tuttavia facilmente spostato dal tracciato del movimento, riducendo l'immediato effetto sulla resistenza di contatto. L'effetto della forza è del tutto simile: basse forze producono pochi detriti ma non sono in grado di spostarli, grandi forze producono maggiori detriti che però vengono spostati dall'interfaccia di contatto durante il movimento.

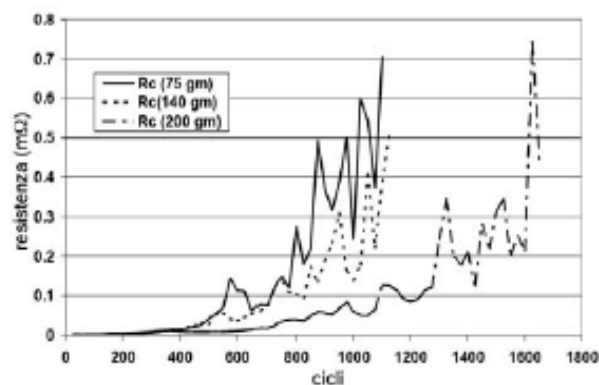


Figura 2.13 – Resistenza di contatto in funzione dei vari cicli di fretting.

Dal grafico in **Figura 2.13**, si osserva l'andamento della resistenza di contatto tra due terminali rivestiti di stagno in funzione dei cicli di fretting. Sono riportate tre curve relative a diversi carichi di forza che si verificano durante il contatto. Ciò che si osserva, e che avvalorava quanto detto in questo paragrafo, è che aumentando la forza normale di contatto, la resistenza subisce gli effetti del fretting, cioè tende ad aumentare in modo meno significativo in funzione del numero di cicli. Grazie a una forza di contatto superiore, il numero di cicli di fretting che un contatto riesce a sopportare senza fallire nella conduzione di corrente elettrica è notevolmente maggiore. Ciò che si deve sottolineare tuttavia è che il numero di cicli non dà una visione effettiva della vita di un terminale in condizioni di fretting; questo vale dal momento che le condizioni possono essere molto diverse e quindi la durata di vita dipende dalle condizioni di fretting cui il connettore si trova sottoposto. La lettura, attraverso un campionamento molto frequente, fatta durante i rilevamenti della resistenza evidenziano un andamento molto seghettato delle curve; questi continui sbalzi di resistenza provocano notevoli disagi in quanto favoriscono l'instabilità del sistema. Si vede inoltre come una volta iniziato il processo di degrado del contatto elettrico, la resistenza aumenta molto velocemente fino a provocare l'interruzione del circuito elettrico. Dopo aver analizzato le problematiche, è utile da un punto di vista progettuale prendere in considerazione anche le azioni preventive che si possono effettuare per eliminare questa fonte di

degrado nei contatti elettrici. Le vibrazioni possono essere prevenute se la stabilità meccanica dell'interfaccia di contatto è sufficiente per resistere alle forze motrici di oscillazione nell'ambiente in cui si deve lavorare. Il principale parametro su cui si può agire è la forza di contatto, come si evince da tutta la precedente trattazione. Elevate forze di contatto significano elevati attriti sulla superficie di contatto che devono resistere alle spinte delle forze motrici del fretting. E' per questo che le forze normali di contatto per connettori rivestiti con stagno sono molto più elevate rispetto ai connettori placcati in oro. Un ulteriore aspetto positivo riguarda la forza di accoppiamento che risulta ovviamente grande in modo da poter garantire la stabilità del contatto, tuttavia viene in questo modo limitato il numero di accoppiamenti che il connettore riesce a garantire senza causare fallimenti. In aggiunta se non si riesce a prevenire l'inizio del fretting, il degrado sarà accelerato per il maggior volume di frammenti prodotti durante il fenomeno. Un altro meccanismo per prevenire questo tipo di corrosione è utilizzando degli appositi lubrificanti; l'utilizzo di questi componenti può permettere un notevole aumento di sopportazione del numero di cicli di fretting senza significative variazioni della resistenza di contatto.

2.2.4 Ossidazione

Tutti i metalli, tranne quelli nobili, tendono a formare ossidi sulla superficie. Gli ossidi causano problemi funzionali ai connettori, principalmente per la loro alta resistenza elettrica. Ci sono due diagrammi particolarmente significativi che spiegano l'influenza degli ossidi sulle proprietà elettriche del contatto. Il primo rappresenta la crescita degli ossidi nel tempo ed è riportato in **Figura 2.14**:

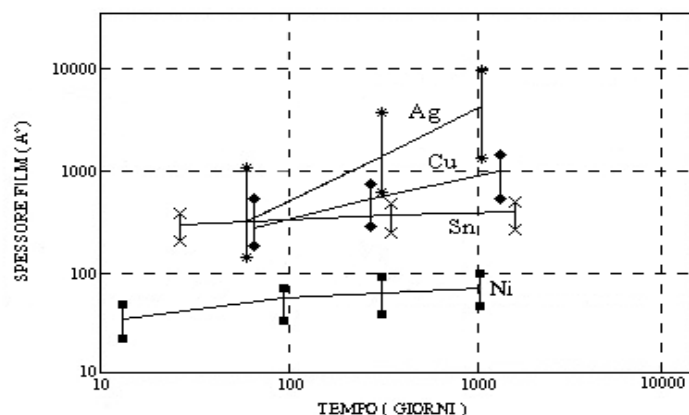


Figura 2.14 – Grafico che rappresenta la crescita nel tempo del film di ossido per alcuni materiali utilizzati nei connettori.

Dal grafico di Figura 2.14 si può vedere che la formazione di ossidi è molto veloce, già dopo pochi giorni c'è uno strato molto consistente, e che ci sono ossidi di nickel e di stagno, che sono autolimitanti, cioè raggiunto un certo spessore tendono a non accrescersi più, mentre altri come gli ossidi di rame e argento continuano a prodursi con il tempo. Questa considerazione è molto importante ad esempio nel fenomeno della porosità di rivestimenti in metallo nobile, infatti se il poro porta ad un substrato di nichel questo si ossida ma ad un certo spessore si ferma evitando di affiorare e di depositarsi in superficie (pori passivi), se invece il poro arriva al substrato di rame si ha la continua ossidazione di rame che porta alla fuoriuscita di composti inquinanti (corrosione-ossidazione) che sedimentano sulla superficie metallica rovinando le caratteristiche meccaniche ed elettriche dell'interfaccia (pori attivi).

Il secondo grafico, riportato in **Figura 2.15**, rappresenta invece la resistenza elettrica in funzione dello spessore del film di ossido.

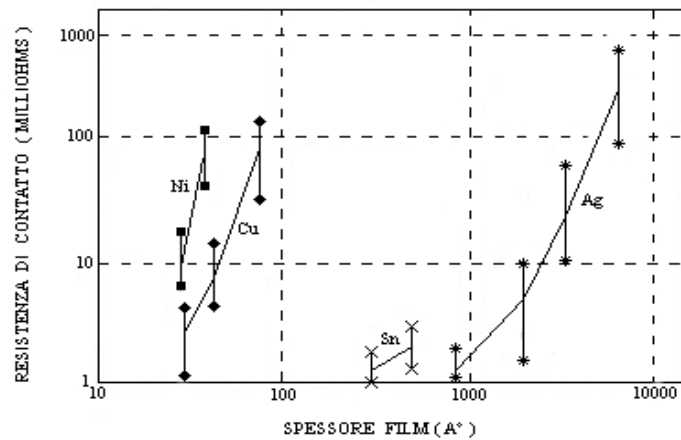


Figura 2.15 – Grafico che rappresenta la resistenza di contatto del connettore in funzione dello spessore del film di ossido.

Il valore della pendenza delle rette di questo diagramma (Figura 2.15) sono direttamente associabili alla capacità di mantenere la stabilità elettrica da parte dell'ossido. Da questo punto di vista nickel e rame sono molto instabili mentre stagno e argento sono più stabili. La presenza di ossidi può creare quindi un'inaccettabile perdita di segnale, ma non sono gli unici prodotti degradativi che si possono formare, particolari atmosfere inquinanti possono creare altri composti come cloruri, solfuri, nitruri e idruri che possono contribuire ad alterare le caratteristiche fisiche della superficie ed intaccare la stabilità elettrica del contatto.

Diagramma di Ellingham: Il grafico più importante, quando si parla di ossidi, è il *diagramma di Ellingham* (riportato in **Figura 2.16**) che visualizza le variazioni di energia libera delle reazioni di ossidazione dei metalli in funzione della temperatura e della pressione di ossigeno. In ordinata abbiamo quindi *l'energia libera di Gibbs standard di formazione*, che si indica con ΔG° , ed è la variazione di energia libera di Gibbs associata al processo di sintesi di una specie chimica, partendo dagli elementi che la costituiscono nel loro stato di riferimento. Lo stato di riferimento di un elemento è la sua forma più stabile alla temperatura specificata (di solito 25 °C) e alla pressione standard di 1 bar (100 kPa). L'energia libera di Gibbs standard di formazione viene espressa in rapporto alle moli di composto formato (nel nostro caso O_2) la sua unità di misura nel Sistema Internazionale è il kJ/mol. In base alla definizione, l'energia libera di Gibbs standard di formazione degli elementi nel loro stato di riferimento è uguale a zero. Derivando rispetto alla variabile temperatura T l'energia libera ΔG° si ottiene *l'entropia molare standard* cambiata di segno, che rappresenta la pendenza delle rette presenti nel diagramma. Il diagramma di Ellingham in pratica rappresenta la stabilità termochimica degli ossidi. Metalli che hanno rette più in basso hanno ossidi con maggiore stabilità. Ad esempio ossidi di stagno (in arancione) sono più stabili degli ossidi di nickel (in blu), gli ossidi di nickel sono più stabili di quelli di rame (in rosso) che sono meno stabili degli ossidi di palladio (in azzurro) e di argento (in verde). Quindi se abbiamo due superfici una di stagno e una di rame a parità di temperatura e pressione di ossigeno si formeranno con più facilità ossidi sulla superficie di stagno. In conclusione c'è da aggiungere che il diagramma di Ellingham non tiene conto dei fattori cinetici.

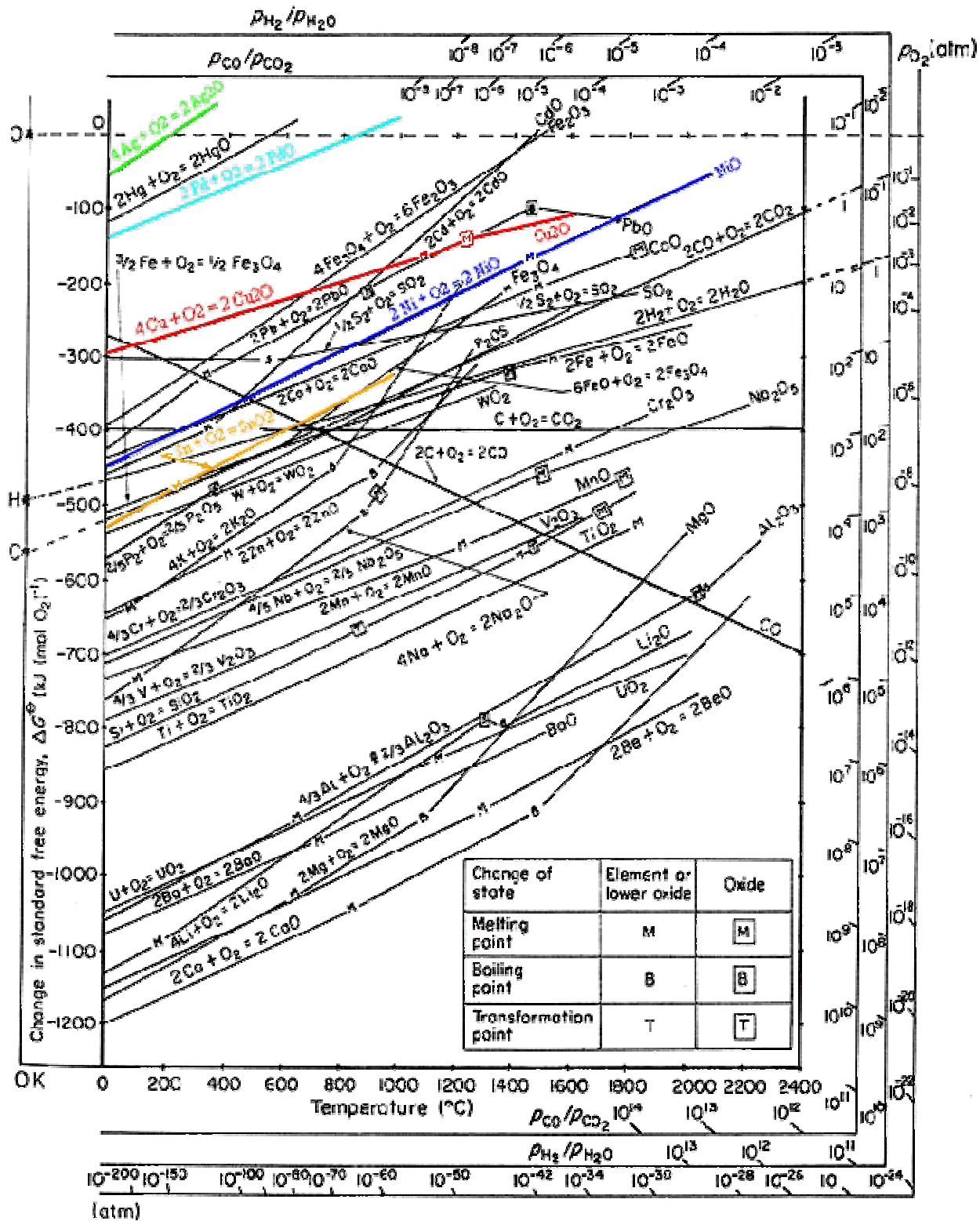


Figura 2.16 – Diagramma di Ellingham.

2.3 Materiali usati nei contatti elettrici

I requisiti fondamentali per i materiali per connettori elettrici a bassa tensione possono essere riassunti come segue:

- resistenza di contatto minima e costante nel tempo;
- particolari caratteristiche di scorrimento ideali per operare con basse forze di inserzione;
- alta resistenza ad abrasione e usura;
- elevata resistenza a corrosione, assicurata da una struttura esente da pori e da fessurazioni;
- i contatti sono molto frequentemente sottoposti a lavorazione meccanica, si richiede quindi che i rivestimenti tra loro e con il substrato abbiano caratteristiche ottimali di aderenza, alto indice di allungamento e un elevato modulo elastico per garantire, se possibile, la possibilità di piegatura senza frattura;
- buone caratteristiche di saldabilità e rapida bagnabilità da parte della lega saldante. Tempi di bagnamento brevi sono un'importante precondizione per massimizzare la velocità operativa di una eventuale linea di saldatura in automatico.

Oltre alle proprietà tecnologiche è ovvio che gli aspetti economici della produzione assumono un'importanza decisiva. Costi più bassi dei materiali si possono realizzare da una parte spingendo al più alto grado possibile la miniaturizzazione dei componenti, dall'altra riducendo lo spessore dei rivestimenti di metalli preziosi e favorendo una maggiore selettività di deposizione. Infine elettrodeporre ad alta velocità rappresenta la premessa essenziale per operare con alte velocità di linea e di processo e, di conseguenza, con costi di lavorazione relativamente più bassi.

2.3.1 Metalli di base

Le leghe metalliche utilizzate nei contatti elettrici sono svariate. In questo paragrafo verranno solo accennate alcune caratteristiche dei materiali più usati, che sono le leghe di rame (come bronzo e ottone) e l'acciaio.

Bronzo (CuSn): Questa lega è composta principalmente di rame, che viene arricchito con stagno fino all'8-9%, questo elemento dà luogo a leghe con buone caratteristiche meccaniche e grande resistenza alla corrosione. Queste leghe sono ancora lavorabili plasticamente e si possono laminare, estrarre, forgiare, stampare e trafilare. Aumentando ulteriormente il tenore di stagno, la durezza raggiunge livelli tali da consentire solo pezzi ottenuti per fusione, chiamati anche *getti*. A livello industriale si arriva a produrre bronzi con tenori fino al 30% di stagno. Tutti i bronzi presentano una conducibilità elettrica inferiore al rame puro. In genere i bronzi contengono sempre elementi aggiunti oltre allo stagno e sono: il fosforo che disossida e aumenta la durezza (*bronzi fosforosi*), il piombo, lo zinco ed il berillio.

Ottone (CuZn): Questa lega è la più utilizzata nella produzione dei contatti elettrici e trova il suo impiego con o senza rivestimento superficiale. Con tenori di zinco fino al 38% la lega risulta duttile e malleabile a freddo. Le caratteristiche meccaniche migliorano all'aumentare del contenuto di zinco mentre diminuiscono quelle elettriche e termiche. Gli ottoni sono adatti per la colata in sabbia e in conchiglia e la pressocolata, che si applica a getti di piccole e medie dimensioni. Rispetto al rame puro presenta valori più elevati di durezza, resistenza meccanica e fusibilità. Alla lega possono essere aggiunti altri elementi per modificarne le proprietà come il ferro, lo stagno, l'alluminio, il nickel ed il silicio.

Acciaio: Questa lega metallica è composta principalmente da ferro e carbonio, quest'ultimo in percentuale non superiore al 2,11%: oltre tale limite le proprietà del materiale cambiano e la lega assume la denominazione di *ghisa*. Esistono tantissimi tipi di lavorazione, di produzione e di arricchimento dell'acciaio. Per quanto riguarda i contatti elettrici possiamo dire che le tipologie più utilizzate sono l'*acciaio nichelato* e l'*acciaio inossidabile*. La combinazione acciaio-nickel offre la massima garanzia di affidabilità in presenza di alte temperature. Le connessioni eseguite in acciaio nichelato possono infatti ben sopportare temperature fino a 300 °C. L'acciaio inossidabile viene impiegato anch'esso in presenza di temperature elevate dove l'ottone non garantisce più l'assoluta affidabilità. L'acciaio inossidabile è il nome dato correntemente agli acciai con un tenore di cromo indicativamente superiore al 13%, per la loro proprietà di non arrugginire se esposti all'aria e all'acqua: il cromo, ossidandosi a contatto con l'ossigeno, si trasforma in ossido di cromo (CrO_2) che crea uno strato aderente e molto resistente, impedendo un'ulteriore ossidazione (tale fenomeno è noto come *passivazione*).

2.3.2 Materiali per i rivestimenti superficiali

Come già riportato nella sezione precedente, i metalli usati comunemente per la produzione di terminali ossidano facilmente. Lo strato di ossido forma un film superficiale che aumenta i valori della resistenza di contatto, peggiorando le prestazioni e aumentando la temperatura operativa. Quindi sull'area di contatto dei terminali diventa d'obbligo depositare un materiale che consenta di ottimizzare le proprietà fisiche dell'interfaccia (resistenza elettrica, resistenza all'usura) e si ponga come prima linea difensiva verso fenomeni chimici degradanti e verso l'ambiente.

La selezione del rivestimento appropriato per una data applicazione dipende dai requisiti meccanici, elettrici e ambientali.

Requisiti meccanici:

- durabilità degli accoppiamenti: il numero di cicli di accoppiamento che possono essere sopportati senza degradazione del rivestimento. La durabilità dell'accoppiamento dipende dalla durezza del sistema di rivestimento, dalla forza di contatto normale e dalla geometria di contatto;
- forza di accoppiamento : forza richiesta per accoppiare connettori. Dipende dalla forza normale di contatto, dal coefficiente di frizione del materiale di rivestimento, dalla geometria di contatto e dal numero di contatti nel connettore.

Requisiti elettrici:

- bassa e stabile resistenza di contatto. La resistenza di contatto dipende dalla formazione di film superficiali o dalla loro capacità di rottura.

Requisiti ambientali:

- temperatura, umidità e specie corrosive determinano il tipo e la struttura dei film che si formeranno sull'interfaccia di contatto.

Ci sono due meccanismi di interazione tra superfici che garantiscono l'accoppiamento meccanico ed elettrico il *rivestimento duro* ed il *rivestimento duttile*.

Il rivestimento duro consiste semplicemente nell'accoppiare due materiali che hanno determinate caratteristiche di durezza affinché non si abbia elevata compenetrazione quando sono soggetti alla forza normale di contatto e quindi ad instaurare inevitabili fenomeni di usura e abrasione. Nello stesso tempo non devono permettere la formazione di film superficiali. Questo meccanismo richiede l'uso però di metalli nobili e preziosi come l'oro duro e il palladio. L'applicazione di questi materiali aumenta di molto il costo commerciale dei connettori elettrici, quindi è opportuno limitarne l'uso.

Poiché i terminali hanno generalmente una connessione permanente, che non richiede resistenza ad usura, allora per diminuire i costi si crea un accoppiamento che utilizza un altro tipo di meccanismo. Questo meccanismo è dato da un materiale che deve essere più economico ma che inevitabilmente è meno resistente alla formazione di film superficiali. I film superficiali che si formano, ossidi in particolar modo, sono materiali fragili e hanno sempre un'elevata durezza e grande resistenza elettrica. Il problema che si presenta è quindi quello di creare, attraverso il film superficiale, dei varchi che consentano il passaggio della corrente elettrica.

L'applicazione di un rivestimento duttile permette all'ossido formatosi di fratturarsi sottoposto alla forza normale di contatto e quindi di far passare la corrente elettrica. Risulta chiaro che l'ossidazione dei varchi creati è evitata dall'intimo contatto tra le superfici, quindi se i due elementi si sconnettessero avremmo una pronta riossidazione, oltre che elevata usura e abrasione, e quindi una bassa possibilità di riutilizzo. Per questo genere di rivestimenti si utilizzano stagno e leghe stagno-piombo. Tuttavia in seguito alla formulazione di norme internazionali che limitano la presenza del piombo nei terminali e in qualsiasi parte di un dispositivo, l'utilizzo di leghe stagno-piombo è stato quasi completamente abbandonato. Ne consegue da quanto detto che i rivestimenti principalmente sono realizzati con metalli preziosi sulla superficie di accoppiamento/disaccoppiamento, mentre sulla parte dei collegamenti fissi i rivestimenti vengono realizzati con stagno e leghe di stagno.

In **Figura 2.17** e **Figura 2.18** sono riportate rispettivamente due illustrazioni di rivestimento duro e di rivestimento duttile:

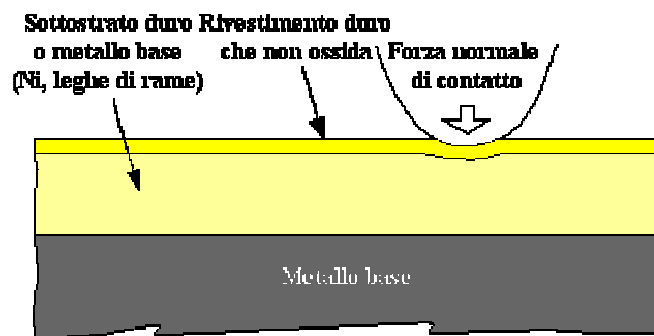


Figura 2.17 – Rivestimento superficiale duro.

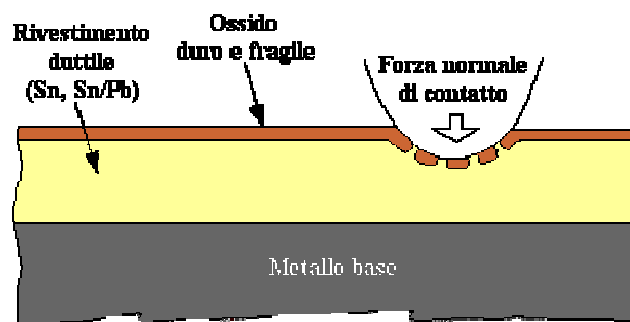


Figura 2.18 – Rivestimento superficiale duttile.

Di seguito saranno riportati i più conosciuti materiali di rivestimento superficiale nell'ambito delle connessioni elettriche.

Oro duro: L'oro è un metallo nobile che ha una elevata resistenza all'ossidazione e all'attacco di solfati. Nel suo stato puro ha un basso punto di fusione ed è suscettibile all'usura (in particolar modo adesiva) e all'erosione.

La durezza può essere aumentata per alligazione con rame, argento, palladio, platino, cobalto e/o nickel. Il legante conferisce ai rivestimenti, oltre alla durezza, proprietà di scorrimento molto buone e resistenza di contatto estremamente bassa. L'uso di queste leghe rimane comunque limitato a casi in cui la corrente sia bassa, a causa del basso punto di fusione, in ogni caso garantiscono un'alta affidabilità. Gli spessori normalmente utilizzati sono compresi tra 0,1 μm e 0,8 μm . Spessori maggiori permettono più cicli di inserzione/disinserzione e quindi una vita più lunga. L'oro, dopo il platino, è il metallo più caro e quindi il costo effettivo del connettore salirà in proporzione allo spessore della pellicola di rivestimento.

Palladio Nickel (80Pd, 20Ni): All'inizio degli anni '80, il palladio è stato utilizzato per la prima volta come materiale alternativo per il costo più basso rispetto all'oro duro. L'impiego di palladio non consente di eliminare completamente l'oro. Per contrastare la tendenza alla formazione di film superficiali, prevenire la formazioni di ossidi e mantenere i valori della resistenza di contatto costanti nel tempo per lunghi periodi è sempre necessario applicare uno strato esterno di oro duro, con spessore inferiore a 0,2 μm (flash di oro). Le proprietà catalitiche di tutti i metalli del gruppo del palladio costituiscono un'ulteriore ragione per l'applicazione di questo strato finale di oro duro. Il problema, a questo proposito, consiste nel fenomeno della cosiddetta polvere marrone: una polimerizzazione catalitica dei vapori organici (per esempio plastificanti) che si liberano dai materiali plastici anche senza aumenti di temperatura. Il film non conduttivo che si forma in queste condizioni potrebbe compromettere il funzionamento di connettori a bassa tensione. In aggiunta all'ulteriore risparmio che consentono, le leghe palladio-nickel (generalmente 80Pd, 20Ni) offrono anche alcuni vantaggi tecnologici rispetto al palladio puro:

- minore sensibilità ai cianuri e all'inquinamento da metalli;
- duttilità più elevata;
- migliore resistenza ad abrasione;
- forze di inserzione più basse;
- durezza maggiore;
- minore tendenza a catalizzare la formazione di polimeri e verso fenomeni di corrosione e polimerizzazione da attrito;
- minor assorbimento di idrogeno e quindi tensioni o sforzi interni più bassi e depositi esenti da frattura.

L'esperienza ormai consolidata da molti anni con i rivestimenti di PdNi20, ma anche i risultati di studi recenti, confermano che i rivestimenti con questa lega costituiscono una reale alternativa all'oro duro. La combinazione di uno strato di PdNi20 con un flash di oro duro consente eccellenti proprietà di resistenza ad abrasione. Il confronto con il rivestimento di solo oro duro evidenzia un risparmio potenziale del 30% circa per la combinazione palladio-nickel più flash di oro, anche con prezzi identici per oro e palladio.

Stagno e leghe stagno piombo: Lo stagno e le leghe stagno-piombo sono usati come coadiuvanti di saldatura e come protezione contro l'ossidazione del substrato. Quest'ultima parte merita una

spiegazione più approfondita, infatti lo stagno non è un metallo nobile quindi anch'esso si ossida e come dimostra il diagramma di Ellingham (Figura 2.16) ha pure un ossido più stabile di quello del rame. Quindi la protezione del rame è dovuta sia ad un fattore fisico, stagno ricopre rame, sia ad un fattore chimico, ossido di stagno più stabile di quello del rame. Ma di fatto, che gli ossidi siano di stagno o di rame, si viene comunque ad avere uno strato non conduttivo tra le interfacce. Quello che fa la differenza è che il sottostrato di stagno è più duttile del substrato di lega di rame e quindi può avvenire quel meccanismo di frattura del film ossido che abbiamo accennato precedentemente. Ci sono vari modi per deporre lo stagno sul metallo base e il tipo di processo influenza caratteristiche come spessore, porosità, rugosità e dimensioni della grana. Queste differenze giocano ruoli significativi nella prestazione e nell'affidabilità dei contatti. Lo stagno e le sue leghe sono materiali molto duttili quindi non adatti ad applicazioni con molti cicli di inserzione/disinserzione, invece sono veramente eccellenti nei collegamenti che prevedono processi di saldatura. Tra i materiali per rivestimenti dei terminali sono i meno costosi. Da diversi anni si sono moltiplicati gli sforzi per bandire tutti gli usi tecnici del piombo, che è un metallo pesante ad alta tossicità. L'importanza del piombo nello stagno, oltre che abbassare i costi e aumentare la duttilità, è la capacità di impedire la formazione di *whiskers*; questi whiskers sono dei cristalli metallici filiformi di dimensioni microscopiche caratterizzati da un'elevatissima resistenza che crescono come protuberanze sulle superfici e peggiorando la reale estensione della superficie di contatto tra connettori. Altro problema che interessa i rivestimenti in stagno o leghe di stagno è la corrosione per sfregamento (fretting), già trattata nella sezione precedente.

Altri materiali: L'argento non è un materiale di contatto adatto per connettori a bassa sollecitazione. Benché questo metallo abbia le migliori proprietà di conducibilità elettrica e termica e sia il metallo prezioso a più basso prezzo, i limiti al suo impiego come superficie di contatto sono molto evidenti e gravi, a causa della sua forte tendenza a formare film di solfuro (Ag_2S) quando è esposto in atmosfere contenenti zolfo e anche per la sua scarsa resistenza ad usura abrasiva. Tuttavia, rivestimenti di argento sono stati impiegati con successo per decenni per contatti che operano con forze di inserzione più elevate. Anche il platino e il rodio non sono adatti per connettori ad inserzione a bassa sollecitazione. I rivestimenti elettrodeposti di platino e rodio, per la loro alta durezza, hanno buone proprietà di scivolamento, questi rivestimenti tuttavia hanno tensioni o sforzi interni molto elevati e tendono quindi a microfessurarsi. Inoltre, non possono essere piegati senza che si abbia frattura. Infine i rivestimenti dei metalli del gruppo del platino, come quelli di palladio, catalizzano la polimerizzazione di vapori organici.

2.3.3 Materiali per i sottostrati conduttivi

Finora abbiamo discusso la scelta del materiale per i terminali (metallo base) e i materiali adatti alla superficie di contatto da deporre sul metallo base. Nulla ancora abbiamo detto sulle interazioni tra metallo base (substrato) e superficie di contatto (rivestimento, materiale elettrodeposto).

La placcatura diretta sul metallo base può portare a diversi meccanismi di danneggiamento o rottura come:

- diffusione di rame attraverso oro;
- aumento dell'usura;
- diffusione di zinco (dagli ottoni);
- formazione di intermetallici (stagno/rame);
- sensibilità del metallo base alla corrosione dei pori;
- problemi relativi ai processi di lavorazione.

In molti casi quindi per migliorare le proprietà di interfaccia tra il rivestimento e il substrato base viene depositato un terzo materiale (sottostrato). I tre materiali che costituiscono i principali sottostrati sono riportati di seguito.

Argento: E' un materiale che è stato di uso predominante negli anni '60. Successivamente venne scoperto che l'argento migra con facilità attraverso l'oro e forma un film disgregativo sulle superfici di contatto, oltre a non fornire una base particolarmente dura quindi oggi non è praticamente più usato.

Nickel: E' il materiale che costituisce il sottostrato più importante e maggiormente usato. Agisce come barriera interna alla diffusione, principalmente Zn e Cu verso oro, e da barriera esterna per le sostanze inquinanti che penetrando nei pori e potrebbero contaminare il metallo base. Il nickel riduce inoltre, nei rivestimenti di stagno, la formazione di intermetallici. La sua particolare durezza aumenta anche la resistenza ad usura del connettore. La sua deposizione livella la superficie e riduce la porosità consentendo una maggior resistenza alla corrosione e migliorando le prestazioni generali del contatto.

Per quanto riguarda le proprietà funzionali dei depositi sono due le filosofie di riferimento per l'elettrodeposizione di nickel. I bagni di solfammato esenti da additivi sono generalmente preferiti per la ragione che la prima priorità consiste nell'ottenimento di rivestimenti il più possibile duttili, che non danno luogo a frattura quando i processi successivi richiedono la piegatura dei pezzi.

Ma nel caso di lavorazioni per proprio conto presso l'azienda produttrice di connettori si preferisce una variante opposta, che per diverse ragioni sembra presentarsi come la soluzione migliore. Questa variante consiste nel lavorare con un nickel sempre al solfammato ma livellante, per ridurre la microrugosità del rivestimento. La porosità dello strato successivo di metallo prezioso risulta ridotta con un considerevole aumento delle proprietà di scorrimento. Lo spessore degli strati di metallo prezioso possono essere ridotti del 20% circa, senza nessuna influenza negativa sul numero di cicli di inserzione/disinserzione ottenibile e sui valori della resistenza di contatto. La duttilità leggermente più bassa di questi strati di nickel satinato viene tenuta presente nella fase di progettazione e di definizione della geometria del prodotto; in pratica si sceglie di operare con raggi di curvatura meno acuti per controbilanciare la più alta tendenza del rivestimento a fratturarsi. Lo spessore del sottostrato deve essere rigorosamente controllato, non può essere troppo sottile perché potrebbe creare problemi di porosità ma non può essere nemmeno troppo elevato in quanto può iniziare ad avere un impatto sul modulo di elasticità del connettore, questo potrebbe avere effetti negativi sulle caratteristiche meccaniche di connessione.

Il nickel può anche diffondere attraverso lo stagno e formare intermetallici nickel/stagno, ma questa diffusione e crescita di intermetallici ha velocità molto lente che sotto le normali condizioni operative non crea praticamente nessun tipo di problemi funzionali.

Rame: E' un materiale usato prevalentemente con rivestimenti di stagno e agisce come barriera alla diffusione interna, formando intermetallici con lo stagno. E' utile anche per livellare e ridurre le porosità presenti sul metallo base, quindi aumenta la resistenza alla corrosione ma per la sua tenerezza non innalza la resistenza ad abrasione e usura. Risulta quindi adatto ad applicazione su connessioni permanenti. In alcuni casi si richiede l'elettrodeposizione di uno strato intermedio di rame, come promotore di adesione, tra il substrato e il rivestimento di nickel (per esempio alcuni substrati di CuBe_2 se rivestiti direttamente con nickel possono manifestare problemi di adesione).

2.3.4 Materiali plastici per l'isolamento

Nelle applicazioni finali, gran parte dei connettori elettrici richiedono di essere inseriti all'interno di un contenitore isolante chiamato housing, generalmente realizzato con materiale plastico. Tale operazione viene effettuata per garantire la sicurezza e per preservare il contatto dall'ambiente esterno, anche nei casi in cui le parti in tensione non siano accessibili all'utente che utilizza il dispositivo dove è inserito il terminale elettrico. L'affidabilità di questi materiali di tipo plastico è fondamentale ed infatti viene valutata attraverso una serie di prove tecniche (ad esempio prove di infiammabilità, di rigidità dielettrica, di resistenza all'umidità).

I materiali adatti a realizzare l'housing del connettore sono ovviamente gli isolanti solidi. Come ogni isolante devono essere caratterizzati da elevata resistività, elevata rigidità dielettrica, appropriata percettività, bassi valori del fattore di dissipazione e assume particolare importanza anche il valore della resistenza superficiale.

I materiali isolanti solidi raramente sono omogenei e spesso sono igroscopici; al loro interno possono essere presenti cavità create durante la preparazione o percorsi conduttivi a forma di filamento; durante il funzionamento possono verificarsi aumenti di temperatura localizzati o diffusi che provocano danni e alterazioni delle proprietà; essi possono presentare conducibilità troppo alta, causa eccessiva dissipazione di energia, con un peggioramento all'aumentare della temperatura; possono essere soggetti a pressioni elevate la dove il campo elettrico è particolarmente intenso; inoltre risentono della forma e dello stato della superficie dei conduttori con cui sono in contatto. I fattori appena citati mettono in evidenza che le prestazioni di questi materiali rilevate dopo i test di collaudo possono differire in misura considerevole da quelle ottenibili con l'isolante posto in opera e nelle normali condizioni di esercizio.

I materiali che realizzano l'housing del terminale sono prodotti organici di sintesi che vengono generalmente individuati con il nome di *materie plastiche* o di *resine sintetiche*. Il processo di formazione di questi materiali prende il nome di *polimerizzazione* e la sostanza che ne risulta si chiama *polimero*. Si definiscono *termoplastici* i materiali polimerici che variano in modo reversibile il loro stato di aggregazione per effetto del calore, diventando deformabili plasticamente all'aumentare della temperatura e tornando rigidi quando vengono raffreddati. Di seguito sono citati due materiali termoplastici di largo impiego tecnico nella realizzazione degli involucri per i connettori elettrici.

Poliamminide (PA): Le poliammidi, resine semicristalline termoplastiche, sono il polimero oggi più comunemente usato. Sono caratterizzate da ottime proprietà meccaniche, resistenza all'usura, basso coefficiente d'attrito, elevato punto di fusione, buona resistenza all'urto, ottime caratteristiche elettriche di isolamento unite ad ottima resistenza alla maggior parte dei solventi organici e facile stampabilità. In alcune formulazioni raggiungono anche caratteristiche antifiamma (UL94-V0). Tramite assorbimento di acqua (umidità ambientale) viene diminuita la rigidità a vantaggio della resistenza all'urto e dell'elasticità dei particolari stampati. Le poliammidi caricate con fibra vetro o carica minerale migliorano alcune caratteristiche particolari come la rigidità e la stabilità dimensionale anche ad elevate temperature.

Poliestere (PBT): I poliesteri PBT, resine semicristalline termoplastiche a base di polibutilenterenftalato, sono caratterizzate da ottime proprietà meccaniche, termiche ed elettriche di isolamento unite ad ottima resistenza chimica e stabilità dimensionale. Come la Poliamminide PA, in alcune formulazioni raggiungono caratteristiche antifiamma (UL94-V0) e se caricati con fibra vetro o carica minerale migliorano alcune caratteristiche particolari come la rigidità e la stabilità dimensionale anche ad elevate temperature.

2.4 Tipologie di connessione elettrica

La complessità di un connettore può essere varia ma le parti fondamentali sono le seguenti: i terminali di contatto, la guaina isolante del cavo, l'housing e la connessione tra cavo elettrico e terminale.

I terminali di contatto sono i componenti conduttori, uno maschio e l'altro femmina, che permettono il passaggio della corrente elettrica quando sono accoppiati. È stato analizzato nei paragrafi precedenti come la stabilità della conduzione di corrente sia dipendente dall'interfaccia di contatto. Da un punto di vista meccanico descrittivo si ha che il terminale presenta da una parte l'interfaccia di contatto e dall'altra la predisposizione ad una connessione con fili elettrici. Si vuole ricordare che l'interfaccia richiede una resistenza bassa e stabile.

La guaina isolante serve per isolare il filo elettrico conduttore dall'ambiente esterno. Inoltre tale isolamento è anche utile meccanicamente per mantenere la posizione e l'allineamento del cavo.

L' housing è la parte del connettore dove i componenti dello stesso vengono assemblati. Esso ha un duplice obiettivo: assicurare una funzione protettiva per le parti interne dall'ambiente di lavoro e fornire una guida meccanica per l'accoppiamento dei terminali.

La connessione tra cavo elettrico e terminale è solitamente una connessione non separabile. Di solito è una giunzione metallica che serve a garantire la connessione elettrica oltre a quella meccanica. L'interfaccia di contatto cavo-terminale è permanente, gioca un ruolo fondamentale nell'assemblaggio e nelle prestazioni del terminale come parte del connettore. La sua resistenza di interfaccia, così come il degrado del contatto, possono portare ovviamente ad un degrado generale delle prestazioni del connettore nel suo complesso.

Di seguito vengono riportati i principali tipi di contatti elettrici in commercio e successivamente verranno esaminate le differenti tipologie di connessione tra cavo e terminale.

2.4.1 Connettori per applicazioni in bassa tensione

Le tipologie di connettori usate più comunemente nelle applicazioni commerciali, negli elettrodomestici e nel settore automobilistico sono quattro: i semplici *terminale-terminale*, i *rack and panel*, i *plug and receptacle*, gli *edge-on*. In **Figura 2.19** sono illustrati tutti e quattro i connettori appena nominati:

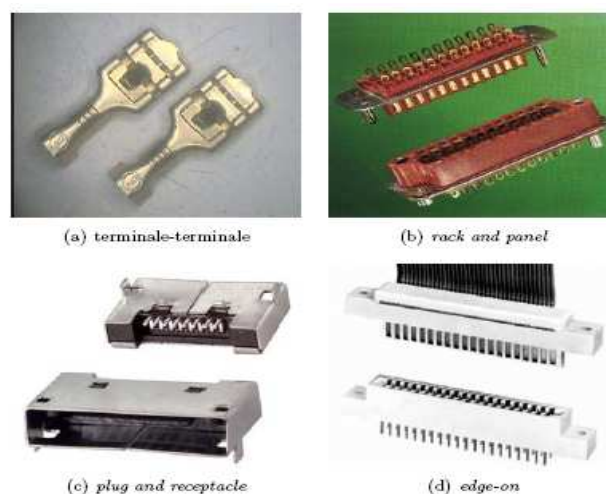


Figura 2.19 – Tipologie più comuni di connettori elettrici nel campo degli elettrodomestici e nel settore automobilistico.

La tipologia “terminale-terminale”, illustrata in Figura 2.19 (a), è la più semplice ed è quella sempre stata utilizzata da quando l'elettricità è stata scoperta. E' chiaro che per questa tipologia di connettori è necessaria una connessione manuale tra il maschio e la femmina, e inoltre non è presente nessun tipo di protezione o isolamento per il terminale dall'ambiente di lavoro; questo è accettabile se l'ambiente di lavoro è già abbastanza protetto da agenti corrosivi. I vantaggi che presenta questo tipo di connessione riguardano la forza normale di contatto, che assicura una resistenza di contatto bassa, e la forza meccanica di accoppiamento, che è sufficiente a garantire che i due terminali non si separino durante l'utilizzo.

La tipologia “rack and panel”, illustrata in Figura 2.19 (b), viene utilizzata tipicamente in quelle applicazioni in cui uno dei due terminali è agganciato a una parte mobile mentre l'altro terminale è agganciato ad una parte fissa dell'apparecchiatura. Quando il terminale mobile viene inserito nel supporto (rack), l'accoppiamento è assicurato. Le caratteristiche meccaniche richiedono delle linee guida per l'inserimento e il corretto accoppiamento in modo da assicurare il giusto allineamento del contatto elettrico tra i terminali. In questo modo si evitano danni dovuti a inserimenti errati, e in modo particolare a posizionamenti non consentiti dei terminali che danneggerebbero il contatto elettrico, provocando un maggiore grado di usura.

La tipologia “plug and receptacle”, illustrata in Figura 2.19 (c), è probabilmente quella che al momento è la più diffusamente usata. E' necessario un operatore per l'accoppiamento di questo tipo di connettori e molti aspetti meccanici non sono quindi necessari, a differenza del caso precedente. Inoltre questi connettori sono molto duttili, specialmente quando si tratta di assemblare complessi cablaggi o circuiti. A seconda delle specifiche applicazioni, il connettore può essere parte di un cablaggio, dove il connettore viene usato in linea per collegare due segmenti di cavi dello stesso cablaggio. Un altro caso che si può verificare è quello in cui il connettore viene utilizzato per collegare due sezioni divise da una paratia, dove la necessità è quella di far passare il cablaggio attraverso una barriera fisica cioè di continuare il percorso dalla parte opposta della paratia. Questa tipologia consente di utilizzare anche alcuni articoli accessori che assicurano il miglioramento della qualità dell'installazione e alcuni che hanno lo scopo di ridurre gli sforzi meccanici e gli effetti degli agenti ambientali.

L'ultima tipologia considerata è quella dei connettori “edge-on”, illustrati in Figura 2.19 (d). In questo caso l'utilizzo è prevalente nelle connessioni scheda-scheda e cavo-scheda. Nella maggior parte delle applicazioni uno dei terminali è un circuito stampato sulla scheda, e in particolare termina con la traccia metallica esposta sul bordo in cui avverrà l'accoppiamento. In alcuni esempi viene usato un circuito stampato flessibile quando la connessione deve essere maggiormente duttile, come si vede appunto in Figura 2.19 (d).

2.4.2 Connessioni elettriche saldate

La saldatura è uno dei metodi per stabilire una giunzione elettrica tra terminale e cavo elettrico. In questo processo è presente un materiale fissante, che fonde a temperature superiori a 425°C, costretto a fluire e diffondersi sulla superficie della base metallica la quale, grazie alle sue proprietà fisiche, ha un punto di fusione più elevato e non si fonde. Una giunzione saldata fatta in modo adeguato genera un legame metallurgico tra una lega saldabile metallica e un materiale metallico di base.

La saldatura è usata per unire componenti metallici per quattro scopi generali: la connessione elettrica, in cui si deve tenere in considerazione la capacità di trasferimento del flusso di corrente; le giunzioni strutturali, che sono progettate per la loro forza meccanica; le unioni ermetiche o guarnizioni, che hanno lo scopo di garantire la tenuta contro variazioni di pressione esterna sia per gas che per liquidi; la conduzione termica, usata più occasionalmente, per assicurare un intimo contatto tra i metalli con

uno scambio di calore e un'efficace dissipazione di calore verso l'esterno.

La scelta relativa alla saldatura per unire due metalli, in ogni caso, è dovuta al fatto che un legame metallurgico può essere raggiunto con minimo rischio di effetti negativi sulla composizione, sulla microstruttura, sulle proprietà intrinseche del metallo di base. Il compromesso, comunque, è che metalli e leghe metalliche con un basso punto di fusione hanno anche una bassa resistenza meccanica. Questa è una naturale conseguenza della fondamentale forza dei legami tra gli atomi nei metalli a basso punto di fusione. Basse forze di unione o basse energie di legame possono causare separazioni più facilmente sia che l'energia di separazione arrivi da una fonte termica sia da una fonte meccanica. Di conseguenza bisogna sempre tenere in considerazione che quando i componenti metallici vengono saldati, la saldatura quasi ogni volta è il punto più debole dell'intero montaggio; l'unica eccezione potrebbe riguardare quando la saldatura si usa per unire leghe metalliche o metalli a basse temperature di fusione, che possono essere esse stesse più deboli della saldatura.

Per assicurare un certo grado di sicurezza meccanica alla giunzione in una connessione elettrica saldata si possono osservare alcune scelte meccaniche largamente adottate. In **Figura 2.20** vengono illustrati degli esempi di soluzioni pre-saldatura, in modo da garantire diversi gradi di sicurezza meccanica alla connessione elettrica saldata.

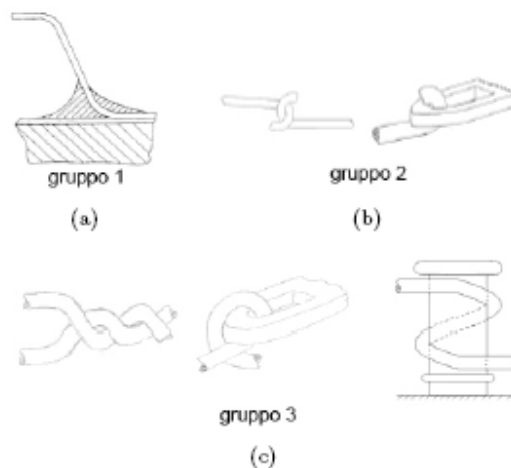


Figura 2.20 – Esempi di collegamenti meccanici pre-saldatura nel campo delle connessioni elettriche.

Ovviamente il grado di sicurezza aumenta dal primo gruppo al terzo. Mentre nel primo non è presente alcun tipo di ancoraggio meccanico tra le parti che si intendono saldare e di conseguenza non c'è nessun tipo di ausilio meccanico per la giunzione finale, nel secondo gruppo si ha un ausilio parziale e un grado di sicurezza meccanica più elevato. Infine nel terzo gruppo dove si ha un solido meccanismo di ancoraggio si ha anche un pieno aiuto meccanico. Per capire la necessità di un ausilio meccanico è utile ricordarsi che sono molteplici i campi di utilizzo in cui si possono trovare i diversi connettori; quindi a seconda delle diverse caratteristiche dell'ambiente e a seconda dei differenti sforzi a cui viene sottoposto il connettore è anche necessario un diverso grado di sicurezza meccanica, che poi si traduce ovviamente in una sicurezza e una qualità di trasmissione della corrente elettrica. Cavi elettrici che siano a singolo conduttore, a trefoli o di diametro differente, vengono quindi saldati per stabilire una connessione elettrica con il terminale; essi sono spesso soggetti a dover subire sollecitazioni meccaniche in conseguenza a vibrazioni, flessioni, pieghe e torsioni, oltre che a disaccoppiamenti indotti da espansione termica. Perciò tali cavi, ma soprattutto le relative connessioni saldate, devono essere in grado di resistere e tollerare tutti questi agenti di stress.

La saldatura è un metodo molto soddisfacente per la connessione elettrica, garantisce infatti una connessione elettrica altamente efficiente, economica, permanente, di buon aspetto estetico ed è particolarmente utile per unire due componenti metallici di forma o sezione differente. In più, una connessione saldata è sicuramente la più affidabile dal punto di vista elettrico, dal momento che l'unione tra le parti è sostanzialmente omogenea e nessuna resistenza di contatto si verifica nell'interfaccia elettrica. La resistenza di contatto inoltre non subisce gli effetti del tempo, mantenendo il suo valore praticamente inalterato.

Tuttavia ci sono anche delle insidie in questo tipo di connessioni: la più importante è la connessione fredda; essa consiste in una saldatura che non viene eseguita alle temperature richieste e rende la connessione molto facilmente separabile. Anche se a occhio nudo la connessione potrebbe sembrare adeguata, un piccolo sforzo meccanico potrebbe causare la rottura del legame. Altre insidie riguardano l'ambiente di lavoro e la verifica delle conformità. Per quanto riguarda l'ambiente di lavoro la saldatura è una tecnica che sfrutta sostanze pericolose e dannose per la salute del personale addetto, a causa della produzione di gas nocivi durante le operazioni. Questa tecnologia presenta infine un ulteriore punto debole che ha una rilevanza industriale di primo ordine: la difficoltà di automatizzare il processo di saldatura. E' necessario infatti per una azienda produttrice che sia possibile automatizzare il processo di connessione allo scopo di limitare il più possibile sia la velocità che il costo di produzione.

2.4.3 Connessioni elettriche prive di saldatura

Le connessioni elettriche prive di saldatura possono essere permanenti o meno, mentre attraverso la saldatura la connessione è necessariamente di tipo permanente; questa è la differenza sostanziale tra le due tipologie di giunzione tra terminale e cavo elettrico. Le connessioni elettriche prive di saldatura di tipo permanente sono in sostanza le connessioni *aggraffate* (*crimp*) e le *connessioni a spostamento di isolamento*, indicate quasi sempre con l'acronimo *IDC* (*Insulation Displacement Connection*) oppure con la sigla italiana *SDI*. Di seguito saranno riportate le caratteristiche principali delle connessioni elettriche aggraffate, mentre le connessioni a spostamento di isolante verranno trattate nel dettaglio nei capitoli successivi.

Aggraffatura è un termine che viene usato genericamente per definire un collegamento permanente tra un terminale e un cavo conduttore. Tale unione prevede il serraggio del terminale sul cavo elettrico senza saldatura tramite il *crimper*, ovvero una parte della matrice (pressa meccanica), di solito mobile, che punzona e comprime il supporto del terminale. Durante il processo di realizzazione infatti viene sfruttata la pressione meccanica, esercitata da appositi macchinari, per bloccare il cavo sul terminale. Con tale connessione è possibile garantire una buona conduzione di corrente elettrica con basse cadute di tensione. Inoltre questo tipo di interfaccia tra cavo e terminale garantisce una notevole resistenza meccanica alla trazione. L'aggraffatura può essere eseguita oltre che sul cavo conduttore anche sulla guaina isolante per aumentare la stabilità meccanica tra cavo e terminale. E' importante notare che l'aggraffatura è un processo irreversibile, la connessione è permanente e una volta serrati cavo e terminale è impossibile separarli senza danneggiare entrambi i componenti. Bisogna osservare anche che la giunzione fredda, che avviene tra i due metalli in contatto, migliora notevolmente le prestazioni della connessione per quanto riguarda la resistenza di contatto qualora la si confronti con una connessione saldata. In più volendo valutare altri vantaggi rispetto alla saldatura non si può non considerare la durabilità meccanica (e quindi la qualità del contatto nel tempo), a patto di proteggere la connessione dagli agenti esterni corrosivi, e la possibilità di automatizzare il processo di connessione in modo da ridurre tempi e costi di produzione. Inoltre questo tipo di tecnica non prevede l'utilizzo di sostanze dannose e si evita così la presenza di sostanze dannose nell'ambiente lavorativo.

In **Figura 2.21** sono illustrati due tipi di terminali per l'aggraffatura e due tipologie di aggraffatura diverse:

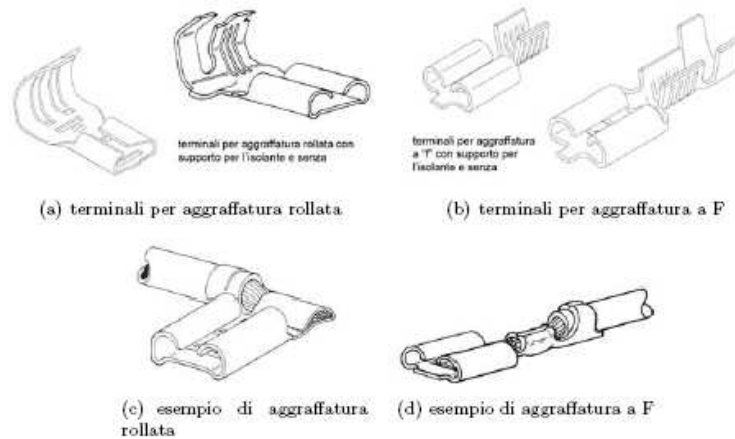


Figura 2.21 – Esempi di terminali e aggraffature di tipo diverso.

Per avere una buona qualità l'aggraffatura deve rispettare tre parametri fondamentali: la qualità della connessione elettrica, la qualità della connessione meccanica e la resistenza alla corrosione.

Si vuole ora descrivere il processo meccanico che permette di realizzare un'aggraffatura a "F" del cavo sul terminale; tale processo è illustrato in **Figura 2.22**:

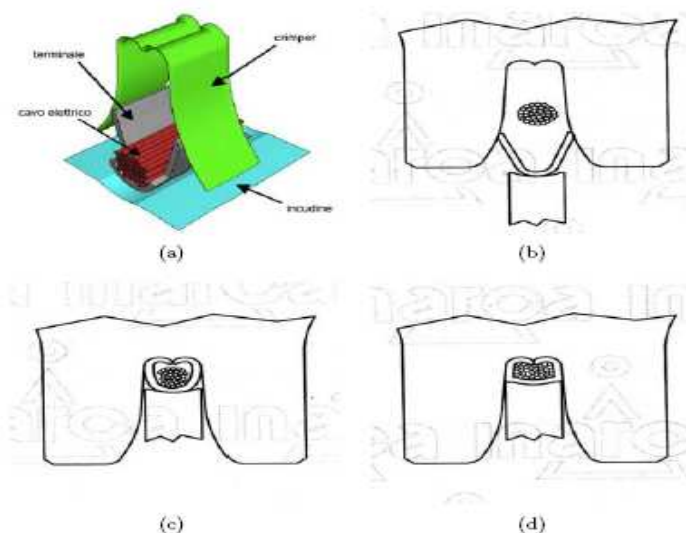


Figura 2.22 – Illustrazione schematica del processo di aggraffatura a "F"

Come prima azione necessaria per il proseguimento del processo, bisogna asportare preventivamente la guaina isolante del cavo elettrico in modo da avere i trefoli visibili, pronti per essere aggraffati e inseriti nella sezione delle alette di supporto del terminale; questo è quanto si vede in Figura 2.22 (a). Successivamente per effetto dell'azione meccanica le alette di supporto del terminale vengono fatte scorrere sulla parete del premirame fino alla loro chiusura (Figura 2.21 (b) e (c)). Infine i trefoli all'interno delle alette vengono schiacciati insieme da un'ulteriore pressione meccanica subita dalle alette stesse del terminale (Figura 2.6 (d)). Con quest'ultima operazione i trefoli hanno rotto lo strato

sottile di ossido che li ricopriva, hanno dato vita ad una giunzione a freddo e hanno formato un gruppo a stretto contatto. L'ultimo stadio che si raggiunge, quando i metalli puliti sono costretti a entrare in contatto, è la formazione di un legame meccanico debole e di un legame metallo-metallo buono dal punto di vista elettrico di conduzione della corrente. Questo effetto viene spesso chiamato saldatura fredda. Quando lo strumento però viene rilasciato, i componenti che erano sotto forte pressione cedono leggermente. Le alette di supporto si rilassano e il terminale metallico perde un po' della compressione che ha ricevuto inizialmente. In questo modo la forza meccanica di contatto diminuisce leggermente a seconda del rilassamento. Bisogna quindi tenere conto di questo fatto quando si progetta il meccanismo per aggirare, in modo che vi sia ancora una forza di contatto sufficiente a garantire una buona conduzione elettrica e una bassa resistenza di contatto dopo il rilassamento. Questo processo deve tenere in considerazione diverse caratteristiche come i materiali che si utilizzano, lo spessore dei cavi da terminare, i rivestimenti metallici, le superfici interne delle alette di supporto, la geometria del processo, la pressione che il terminale deve subire e la deformazione finale dell'aggraffatura.

Per completare la descrizione delle connessioni aggraffate verranno presi in esame tutti i componenti che caratterizzano questo tipo di connessione elettrica. L'esempio di riferimento è illustrato in **Figura 2.23**:

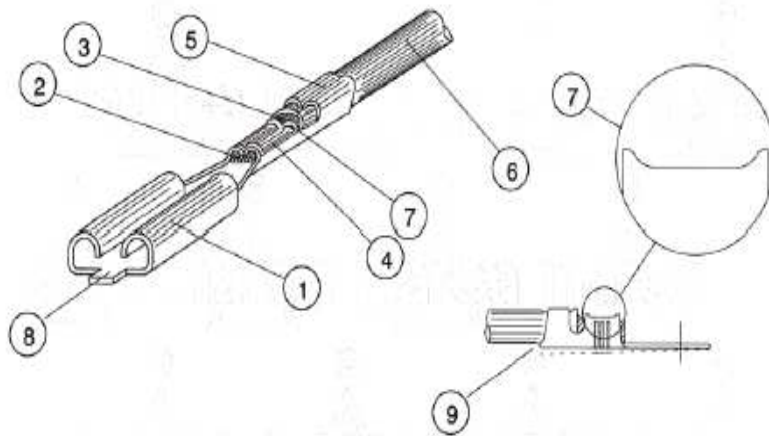


Figura 2.23 – Dettagli di un'aggraffatura ad "F".

- 1) E' la parte del terminale che dovrà essere accoppiato con il suo recettore per completare la connessione e permettere il passaggio continuo della corrente elettrica.
- 2) E' l'insieme dei trefoli di rame, che erano contenuti all'interno della guaina isolante, essi costituiscono la parte di conduzione elettrica del cavo e ora sono aggraffati al terminale.
- 3) Buona garanzia di conformità dell'aggraffatura è la presenza, nello spazio tra le due alette, di un supporto di aggraffatura del terminale, dei trefoli e della guaina isolante.
- 4) Le alette di supporto che piegate e compresse sui trefoli stabiliscono l'aggraffatura e consentono il passaggio di corrente tra i fili di rame e il terminale metallico.
- 5) E' l'aggraffatura dell'isolante che dà stabilità meccanica alla connessione essendo un ottimo ammortizzatore delle vibrazioni, ed evita inoltre lo slittamento della guaina isolante.
- 6) E' il cavo elettrico nella sua completezza. Viene usato come collegamento tra due contatti ed è composto dai trefoli che possono essere unipolari o multipolari e dalla guaina isolante che ricopre il conduttore e lo isola dall'ambiente esterno.
- 7) Il *bellmouth* è una svasatura alle estremità delle alette di aggraffatura del conduttore, esso serve per evitare incisioni sui trefoli che potrebbero causare la rottura dei medesimi se sottoposti a vibrazioni.

- 8) E' il testimone di taglio e non deve superare lo spessore del materiale.
- 9) L'aggraffatura non deve provocare danni al terminale metallico, la massima deformazione ammessa è dello stesso ordine di grandezza dello spessore del materiale.

3. Connessioni elettriche a spostamento di isolante (IDC)

Dopo aver introdotto l'azienda che ha permesso la stesura di questo lavoro ed aver definito i punti cardine della teoria delle connessioni elettriche, possiamo trattare nel dettaglio la tipologia di connettori per i quali verrà eseguita l'analisi delle Normative Internazionali. Questa trattazione non sarà caratterizzata da nessun riferimento normativo; infatti la descrizione sarà puramente teorica, ma comprenderà dei riferimenti tecnici legati ai prodotti e ai sistemi di produzione che INARCA mette a disposizione per questa tipologia di connettori.

Nel precedente capitolo erano state chiamate in causa le connessioni elettriche prive di saldatura ed era stata brevemente descritta la tecnica dell'aggraffatura; oltre a questa tecnica però, negli ultimi decenni, si è sviluppata una nuova tecnologia di connessione senza saldatura: la connessione elettrica a spostamento di isolante IDC (Insulation Displacement Connection), detta anche SDI. Nel settore degli elettrodomestici, così come in quello degli apparecchi elettronici e più in generale nell'area di trasmissione di segnali elettrici, la tecnica di connessione a spostamento di isolante è ormai diventata lo stato dell'arte per le connessioni elettriche, mentre nel settore automobilistico il suo utilizzo rimane ancora incerto. Questo tipo di connessione è un'alternativa più che valida all'aggraffatura per correnti di lavoro che non superano i 25 A. Le due caratteristiche principali di questa tecnica di connessione, che la rendono preferibile rispetto all'aggraffatura (dal punto di vista aziendale), sono la riduzione dei costi di produzione e la maggiore facilità di connessione durante il processo produttivo. Per quanto riguarda la facilità di connessione, essa sta nel fatto che non sono necessarie operazioni preventive sui fili o cavi da processare (rimozione preventiva dell'isolante), a differenza di quanto avveniva con l'aggraffatura. Ne consegue che il processo di produzione ed in particolare il processo di connessione risulta più snello e immediato, permettendo di aumentare la velocità produttiva e ridurre i costi. Si vede

quindi che i due aspetti sono strettamente legati, da uno consegue l'altro. E' tuttavia necessario rendere chiara l'idea che meno passi intermedi ci sono in un processo di produzione, minori sono le possibilità di commettere errori e di produrre scarti. Infatti la produzione e l'applicazione dei connettori IDC è completamente automatizzata e comprende l'operazione di collegamento tra cavo e terminale con la polarizzazione dei connettori stessi.

La connessione IDC è composta essenzialmente da due elementi: il terminale ed il connettore, che in questo caso è rappresentato dall'involucro in plastica (housing). A differenza dell'aggraffatura, dove terminali e connettori vengono assemblati dopo l'unione tra filo e terminale, la connessione IDC deve essere necessariamente effettuata prima dell'inserimento del filo. Pertanto tutti i connettori vengono commercializzati con i terminali inseriti. Durante la fase di inserimento del filo conduttore all'interno delle alette del terminale avviene l'asportazione della guaina (o smalto) isolante ed il contatto del filo stesso con le pareti del terminale; si noti che è il filo ad essere inserito all'interno delle alette del terminale, quindi quest'ultimo non si muove.

E' possibile inoltre distinguere la produzione delle connessioni IDC in due campi di applicazione differenti, quello dei fili smaltati e quello dei cavi isolati con guaina. Le diverse soluzioni progettuali che si hanno nei due casi verranno analizzate di seguito.

3.1 Connessioni IDC per fili smaltati (RS)

Prima di procedere alla descrizione delle connessioni IDC per fili smaltati (indicate con la sigla *RS*) è fondamentale dare una definizione di cosa si intende per filo smaltato. Un filo smaltato non è altro che un conduttore, solitamente in rame, che ha sulla superficie esterna di un sottile strato di smalto, atto a garantire l'isolamento elettrico tra le spire conduttrici che costituiscono un avvolgimento. Lo smalto è chiaramente un elemento di disturbo nel momento in cui si intende effettuare la connessione con il terminale.

Inizialmente i fili smaltati venivano saldati al terminale. Ovviamente, questo tipo di lavorazione comportava sia tempi che costi elevati, dovuti appunto alla complessità dell'operazione da realizzare. Nello specifico, il filo doveva essere preparato attraverso l'asportazione dello smalto e l'applicazione di prodotti antiossidanti; questo tipo di operazione era inoltre di difficile automatizzazione. L'evoluzione nel trattamento dei fili smaltati si è avuta con un tipo di connessione molto simile all'aggraffatura, che però non necessitava di trattamenti preventivi del cavo, questo perché la connessione sia meccanica che elettrica era assicurata dalla specifica forma dei terminali utilizzati per la connessione. I terminali infatti presentavano delle rigature sulla superficie interna che consentivano, in fase di aggraffatura, l'asportazione dello smalto dal filo. I tempi e i costi di produzione risultavano contenuti, tuttavia pur avendo delle connessioni di qualità a basso costo, sono state riscontrate delle limitazioni soprattutto nell'automatizzazione della procedura produttiva. Per questo motivo si è cercato di effettuare un ulteriore passo in avanti per favorire l'automatizzazione produttiva delle connessioni per fili smaltati. Si è così giunti ad una prima forma di terminazione mediante spostamento di isolante, che è rappresentata in **Figura 3.1** (a). Questo tipo di terminale agevola l'operazione di inserzione del filo. A questo scopo sono necessarie delle fessure verticali nell'involucro isolante che contiene il terminale, dove il filo smaltato viene sistemato prima di procedere alla connessione con il terminale stesso, come si vede in **Figura 3.2**.

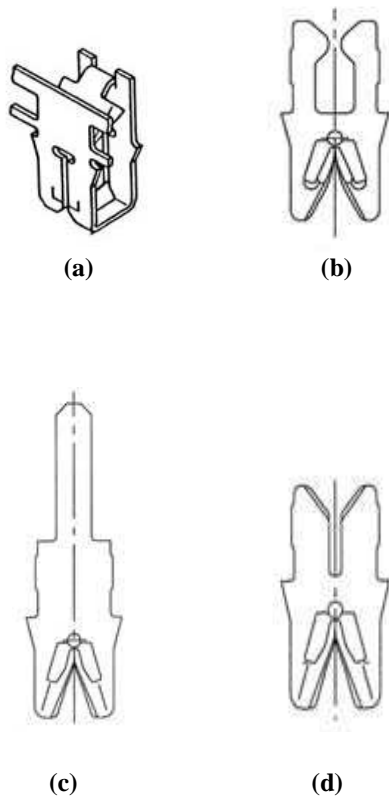


Figura 3.1 - Esempi di terminali RS.

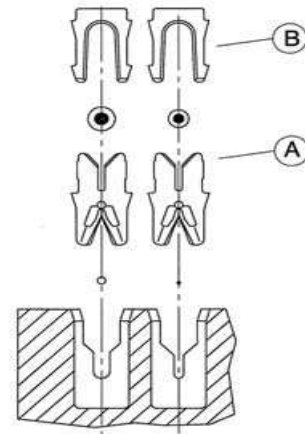


Figura 3.2 – Assemblaggio di una connessione RS.

Con la sigla RS (rompi smalto) si vuole appunto indicare la caratteristica del tipo di connessione, che è appunto quella di rompere lo strato di smalto presente sul filo per assicurare il contatto elettrico con il terminale.

La principale limitazione che si può attribuire a questo terminale (rappresentato in Figura 3.1 (a)) è la limitata gamma di sezioni di fili smaltati che si possono processare. E' necessario infatti cambiare le specifiche del terminale, in particolare la dimensione della fessura di alloggiamento del conduttore, per adempiere alle stesse funzioni con fili smaltati di sezione differente. Allo scopo di superare questo problema sono state adottate delle soluzioni geometriche differenti. E' possibile osservare queste nuove soluzioni geometriche nelle Figure 3.1 (b), (c), (d) e osservare gli effetti pratici di ciò che si ottiene dal processo nella **Figura 3.3** riportata di seguito:



Figura 3.3 – Immagini reali di un terminale avente geometria compatibile con diverse sezioni di fili smaltati e cavi.

In Figura 3.3 si vede che con lo stesso terminale è stato possibile connettere fili smaltati di sezione diversa. I terminali RS, come si vede in Figura 3.1, sono tutti caratterizzati da una stessa forma per processare i fili smaltati ma possono avere appendici differenti in base alle diverse connessioni cui saranno sottoposti in entrata o in uscita. Un esempio di connessione completa si ha in Figura 3.2, in cui vengono connessi, attraverso il terminale, un filo smaltato (per mezzo della tecnica RS) e un cavo isolato con guaina.

3.1.1 Caratteristiche funzionali dei terminali RS

In questo paragrafo si vogliono analizzare i particolari dei terminali RS, per poter capire meglio i vantaggi che ne derivano. La **Figura 3.4** illustra un terminale RS suddiviso in zone, in modo da comprendere il suo funzionamento.

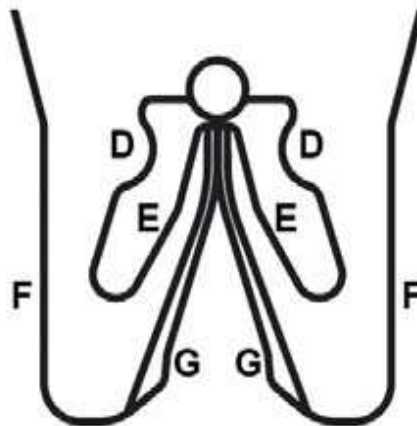


Figura 3.4 – Illustrazione di un terminale RS e delle sue caratteristiche principali.

Per effettuare una buona connessione utilizzando i fili smaltati è necessario che lo smalto venga tolto al momento dell'inserzione, inoltre è necessario che una forza trasversale residua sia presente a connessione completata per mantenere affidabile il contatto elettrico tra il conduttore ed il terminale. Allo scopo di svolgere entrambe le funzioni, in primo luogo sono state progettate delle balestre, indicate in Figura 3.4 dalla lettera "E". Le balestre sono libere, fino ad un certo punto, di deformarsi elasticamente per permettere l'inserimento del filo, ma al tempo stesso agiscono su di esso per asportare lo smalto; quando il diametro del filo è troppo grande le appendici delle balestre vanno ad appoggiarsi e a spingere sulle protuberanze del terminale (zona "D"); ne consegue che anche le zone indicate dalla lettera "F" subiscono un certo grado di deformazione elastica. Tuttavia sia le protuberanze che le parti esterne delle balestre deformandosi provocano una forza di reazione che garantisce la stabilità del contatto elettrico, infatti esse sono di supporto alle balestre interne garantendo una spinta verso l'asse centrale del terminale che blocca il filo e mantiene stabile il contatto. Il filo, per avere una buona connessione, dopo essere stato inserito deve rimanere fisso nella posizione finale durante tutto il tempo di utilizzo; quindi risulta necessaria la presenza di una forza residua sufficientemente elevata che agisca sul filo per tenerlo in posizione dopo che è stato effettuato l'inserimento. Questa forma particolare risolve quindi il problema di poter processare fili con sezione diversa in uno stesso terminale. Per facilitare l'inserimento dei fili e poter permettere una compatibilità elevata è importante anche la geometria della zona "G". Questa zona è utile sia per favorire l'inserimento di fili dal diametro piccolo e medio, sia per l'asportazione dello smalto, ma è anche importante perché permette di processare fili

con diametro maggiore che penetrano meno in profondità nel terminale.

In **Figura 3.5** è illustrato ciò che si verifica durante l'inserimento di un filo smaltato di piccole dimensioni in un terminale RS.

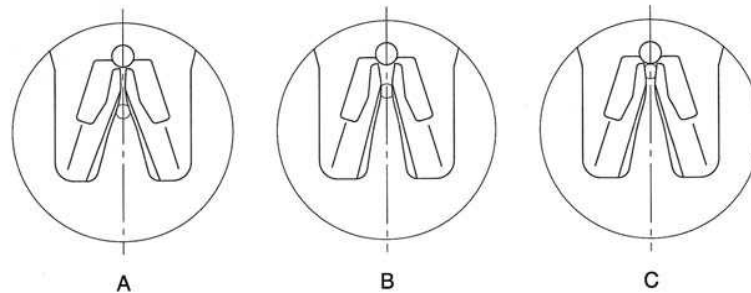


Figura 3.5 – Inserzione di un filo smaltato nel proprio alloggiamento di un terminale RS.

Nella Figura 3.5 si vede chiaramente come il filo smaltato, durante l'inserimento nel terminale, venga indirizzato dalle balestre interne verso l'asse centrale del terminale stesso. Il filo è libero di proseguire la sua corsa perché non incontra una fessura tra le balestre troppo piccola in relazione al suo diametro. A questo punto è necessario che la forza di inserzione sia sufficientemente elevata affinché lo smalto venga asportato, mentre il filo spingendo sulle balestre penetra nel terminale. Nel caso illustrato in Figura 3.5, la posizione finale del filo è nel cuore del terminale, dove è tenuto in posizione dalle appendici delle balestre. In questo caso però tali appendici non raggiungono le protuberanze prima citate. Se si fosse usato un filo con sezione maggiore la posizione finale sarebbe stata differente, come si osserva in Figura 3.3. Infatti nel caso in cui le appendici fossero state costrette a spingere sulle protuberanze, il filo non avrebbe raggiunto il cuore del terminale ma sarebbe rimasto bloccato dalle appendici della balestra a metà strada. In entrambi i casi la forza assiale e radiale applicata dalle balestre al filo è sufficiente a garantire l'affidabilità del contatto elettrico dal punto di vista meccanico. Rimane ora da chiarire l'aspetto relativo all'asportazione dello smalto. In **Figura 3.6** è possibile considerare una visione laterale del terminale connesso al filo ed una visione della rispettiva sezione.

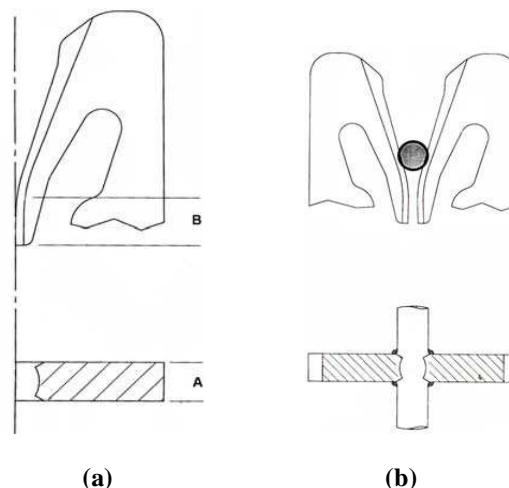


Figura 3.6 – Illustrazione specifica della balestra di un terminale RS da due diverse prospettive con filo smaltato di sezione media inserito (b) e non inserito (a).

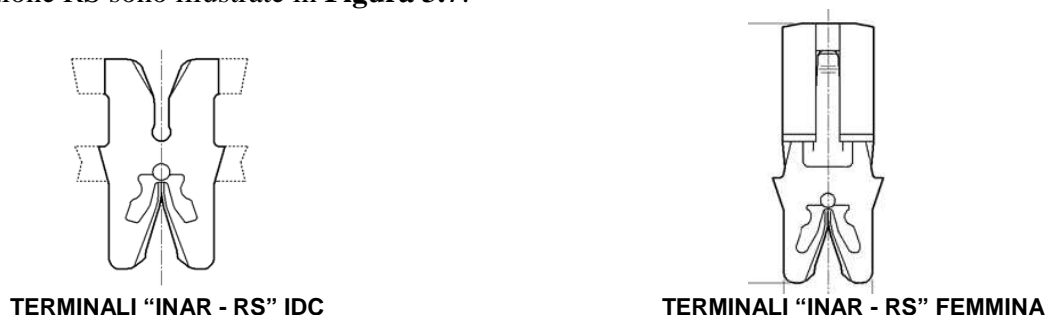
Grazie alla Figura 3.6 è possibile osservare, secondo un altro punto di vista, quanto accade durante l'inserimento. Il filo, sospinto dalla relativa forza di inserzione, inizia a esercitare una pressione sulle balestre interne che si deformano elasticamente, tuttavia esse in risposta, grazie alla loro forma, provocano l'asportazione dello smalto e la deformazione del nocciolo di rame del filo. Dalla visione in sezione si può osservare come i residui dello smalto e alcuni residui di rame si accumulino in alcune zone adiacenti all'interfaccia di contatto; questo fatto assicura che la spelatura sia di ottima qualità e che si ottenga anche un ottimo contatto elettrico. Osservando le zone deformate in seguito alla connessione si può notare come la tecnica RS faccia aumentare le asperità di contatto e anche la tenuta della connessione nei confronti dei gas. In Figura 3.6 (a) si può apprezzare meglio la geometria interna delle balestre: infatti la particolare forma arcuata fa aumentare notevolmente la superficie di contatto e assicura un'ottima resistenza meccanica alla trazione in direzione trasversale. Partendo dal presupposto, reso noto nel precedente capitolo, che una buona connessione viene realizzata se la superficie di contatto risulta superiore rispetto alla sezione del filo conduttore processato, e considerando (con approssimazione per difetto) che lo sviluppo del profilo della balestra sia pari allo spessore della stessa, si ha che, teoricamente, la superficie di contatto massima è pari a 1 mm^2 . Infatti, considerando la Figura 3.6 (a) e avendo come misure $A = 0,5\text{mm}$ e $B = 1\text{mm}$, la superficie di contatto S_c è data dalla relazione:

$$S_c = (A \cdot B) + (A \cdot B) = 1\text{mm}^2 \quad (3.1)$$

Ne consegue quindi che la superficie di contatto risulta essere fino a quattro volte la sezione del filo processato e la qualità della connessione elettrica è quindi garantita. Inoltre, dato il valore elevato della superficie di contatto, non si deve avere nessuna preoccupazione nel caso in cui siano presenti tracce infinitesime di smalto sul filo nella zona di connessione, in quanto la superficie di contatto è sempre superiore alla sezione del filo stesso. Infine è necessario osservare che la pressione esercitata dalle balestre è sempre tale da garantire, a prescindere dal diametro del filo, che la superficie di contatto sia sempre superiore alla sezione del filo lungo tutta la durata di utilizzo del componente.

3.1.2 Prodotti INAR-RS

Le connessioni a spostamento di isolante RS sono state commercializzate da INARCA a partire dagli anni '90. Le connessioni *INAR-RS* sono state progettate per sostituire la classica aggraffatura per fili smaltati (detta aggraffatura "splice") e per permettere ai clienti di ottenere lavorazioni più automatizzabili per ridurre i tempi ed i costi di produzione. Le tecnologie di connessione sviluppate da INARCA consentono di avere diverse forme di uscita e quindi la famiglia di connettori RS viene suddivisa in sette tipologie di prodotti, che sono i terminali *INAR-RS IDC*, *FEMMINA*, *TAB*, *PIN*, *EDGE*, *SPRING* e *MATE*. Le diverse forme di uscita che caratterizzano le varie tipologie di terminazione RS sono illustrate in **Figura 3.7**:



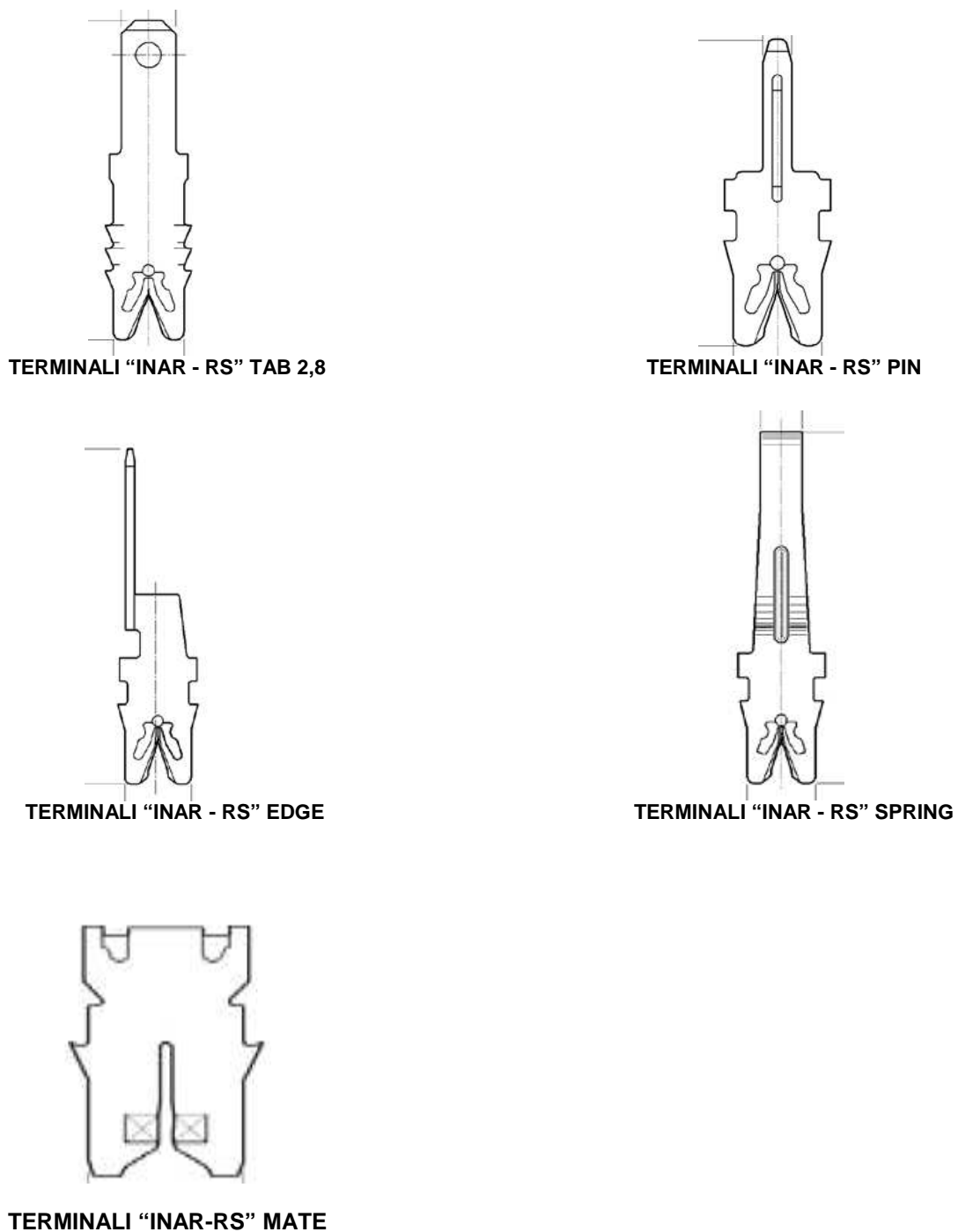


Figura 3.7 – Varie tipologie di terminali per connessioni INAR-RS.

Ogni terminale viene utilizzato per una certa applicazione specifica ed ogni famiglia di prodotti presenta delle varianti, solitamente rappresentate dalla geometria e dalla larghezza della linguetta del terminale (ad esempio per i terminali INAR-RS TAB vi sono le serie con larghezza 2,8 – 4,8 – 6,3). Per una descrizione più esaustiva di queste tipologie di prodotti si deve visionare il catalogo dei prodotti di INARCA.

I campi di applicazione principali delle tecnologie di connessione INAR-RS sono: avvolgimenti di motori, bobine elettriche, avvolgimenti di trasformatori, reattori, alimentatori di potenza ed attuatori. In **Figura 3.8** è riportato un esempio di applicazione reale.

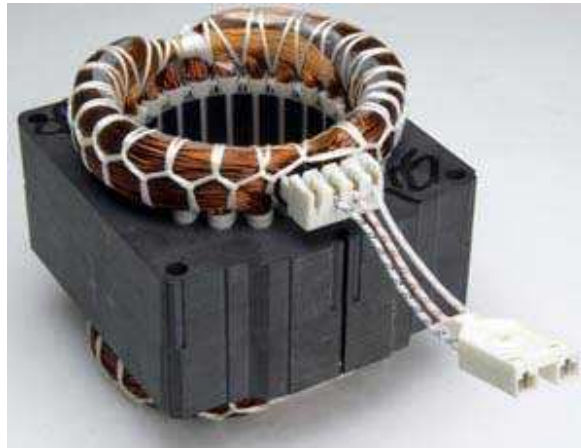


Figura 3.8 – Connessione INAR-RS IDC applicata in maniera lineare ad un avvolgimento di un motore.

I terminali IDC-RS sono dotati anche del proprio guscio isolante (housing), come si può vedere in Figura 3.8. L'housing è il secondo componente della connessione e, generalmente, dotato di una o più file di alloggiamenti. Le dimensioni, il numero ed il passo degli alloggiamenti varia in funzione del diametro, della scelta dei terminali e dalle distanze di sicurezza richieste. Ogni alloggiamento può contenere solo un filo con una sezione compatibile con il terminale alloggiato. Non è possibile applicare i terminali RS su due fili sovrapposti (ad esempio per ponti) poiché solamente il filo maggiore viene processato. Ogni tasca possiede due fessure esterne per l'allineamento dei fili e le dimensioni di tali fessure variano in funzione della sezione del filo da processare. All'esterno del connettore ed in asse con le tasche generalmente sono utilizzati alcuni piolini per bloccare il filo durante la lavorazione. Questi piolini sono tagliati al momento della connessione e possono avere differenti forme e dimensioni, in funzione del diametro dei fili.

La forma esterna del connettore è in funzione del tipo di applicazione e generalmente ha uno o più agganci o perni per il centraggio sullo statore. In alcuni casi il connettore è integrato direttamente sul coperchio isolante degli avvolgimenti. Quando sono richieste applicazioni con il bloccaggio sul cavo, la tasca interna è utilizzata per il terminale RS mentre la tasca esterna per il bloccaggio del cavo per garantire lo smorzamento delle vibrazioni (trasmesse dal motore).

Come materiale dell'housing, è generalmente utilizzato PA o PBT caricato con vetro 10-30%, per incrementare la solidità e la precisione di stampaggio. I connettori sono generalmente progettati e prodotti da INARCA, per garantire il massimo rispetto delle tolleranze e delle specifiche.

Dopo aver definito le principali caratteristiche dei terminali e dei connettori INAR-RS, di seguito saranno elencati i principali vantaggi di questo tipo di applicazione:

- possibilità di processare contemporaneamente fili con diametri diversi ($\varnothing = 0,12 \div 0,4 / \varnothing = 0,25 \div 0,4 / \varnothing = 0,8 \div 1,5$);
- possibilità di connessione su fili smaltati in rame e cavetti con filo rigido o trefolato;
- connessione senza inclusioni o buchi neri (*gastight*);
- possibilità di connessione su tutti i tipi di smalto isolante (fino a classe "H");
- eliminazione della fase di preparazione dell'estremità del filo (*prestripping*);
- rasatura automatica del filo e del cavo in eccesso;

- possibilità di eseguire fino ad un massimo di 3 ponti;
- possibilità di avere diverse forme di uscita;
- eliminazione di qualsiasi operazione manuale di inserimento guaine;
- minor ingombro del connettore, con disposizione dei contatti rettilinea o circolare;
- possibilità di automatizzare il processo, eliminando le operazioni manuali, con capacità produttiva fino a 3000 inserimenti/ora a seconda del tipo di unità utilizzata (da banco, in linea, ecc.);
- possibilità di eseguire test elettrici di controllo in automatico;
- razionalizzazione del processo costruttivo con riduzione dei tempi di approntamento e fornitura prodotto finito.

3.1.3 Metodologie di applicazione dei prodotti INAR-RS

Tutte le applicazioni possono, in funzione della disposizione geometrica dei terminali sul connettore, suddividersi in due tipologie: *lineari* e *circolari* (vedi **Figura 3.10**). Entrambe possono essere realizzate con uno o più terminali diversi, utilizzando una *macchina inseritrice* con una o due alimentazioni (e apposito kit) per ogni tipo di terminale. Il *kit di inserimento* necessario per realizzare una connessione INAR-RS è mostrato in **Figura 3.9**.

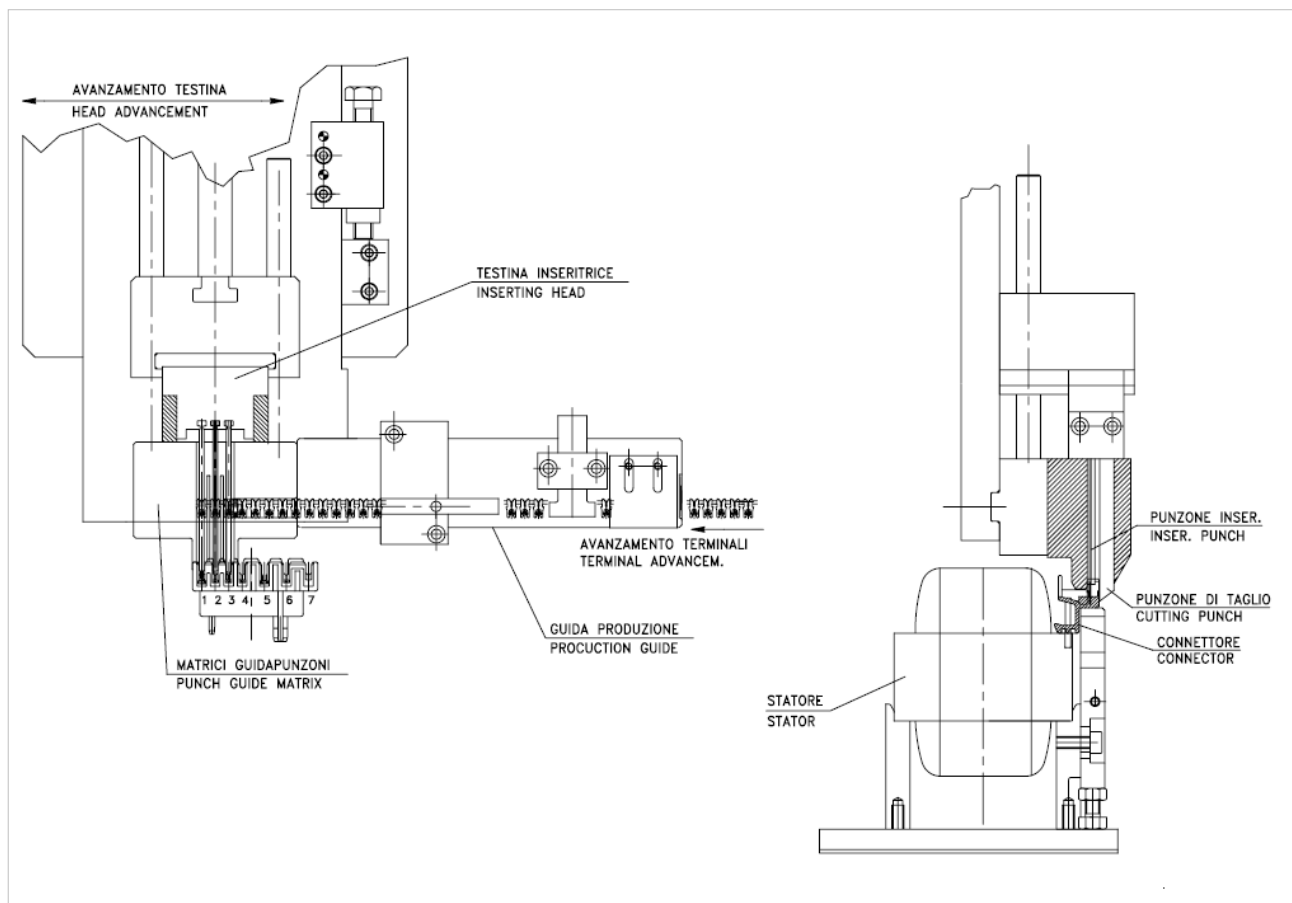


Figura 3.9 – Kit di inserimento per le connessioni INAR-RS.

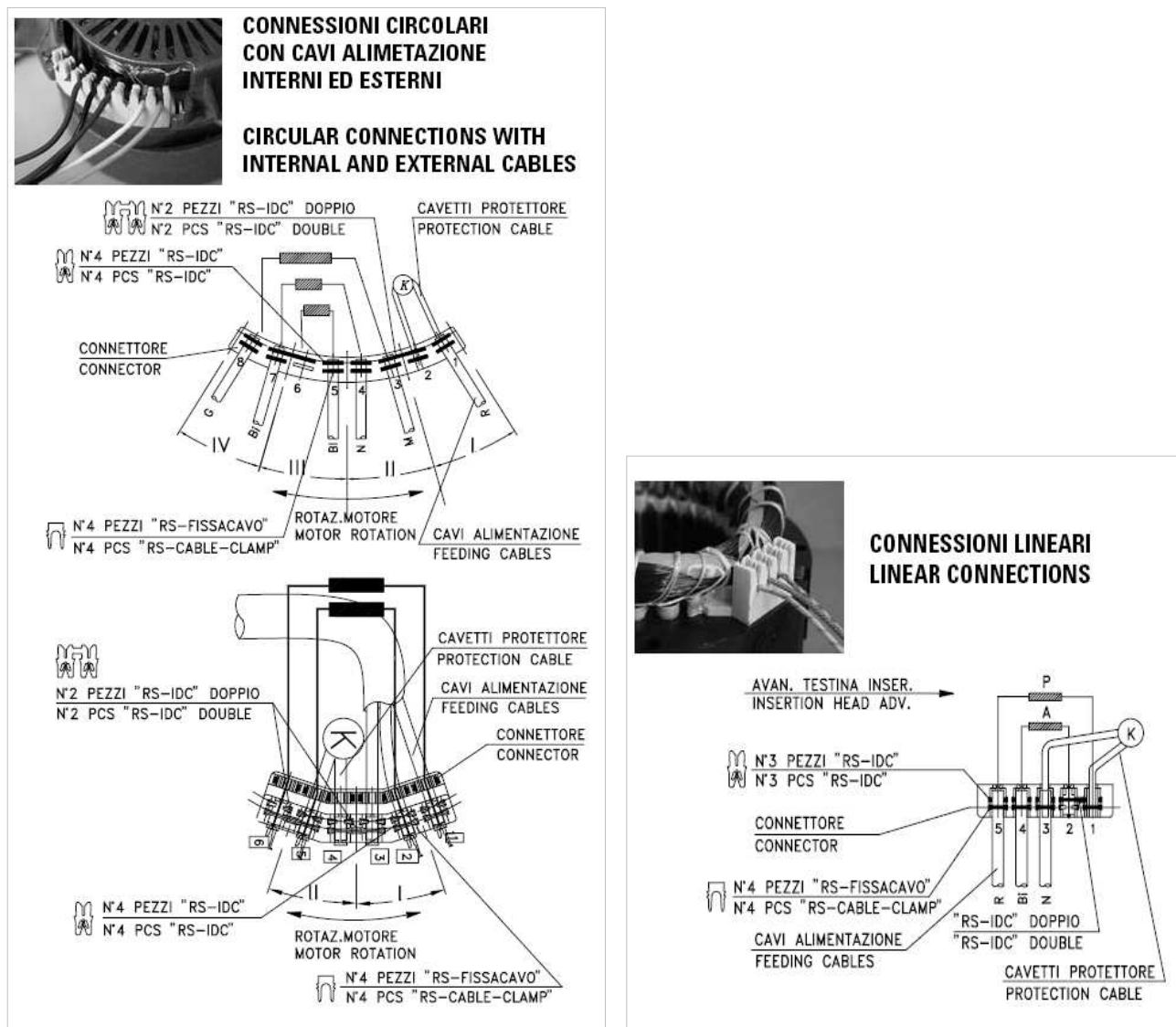


Figura 3.10 – Connessioni circolari (a sinistra) e connessioni lineari (a destra).

Come si può notare in Figura 3.9 i terminali sono prodotti sotto forma di nastro per poter essere utilizzati su attrezzature e macchine che permettono di eseguire il cablaggio in automatico di terminale, conduttore e housing.

Per i prodotti INAR-RS è possibile anche la realizzazione di "ponti elettrici", tramite l'inserimento di un doppio articolo (a richiesta è possibile realizzare ponti con un numero maggiore); non è invece realizzabile sulla stessa tasca la connessione di due fili sovrapposti. Sono possibili inoltre connessioni in passo 5 con il terminale *INAR-RAST 5* (definito nel paragrafo 3.2.3).

Per una corretta applicazione è necessario attenersi scrupolosamente alla specifica tecnica del prodotto soprattutto per quanto riguarda le dimensioni delle tasche del connettore, la corretta sequenza della connessione e le caratteristiche dei fili e dei cavi.

Le due tipologie di applicazione, lineari e circolari, possono essere realizzate:

- con terminali "RS-IDC" a doppia perforazione, sul quale viene connesso un cavetto di alimentazione, come mostrato in Figura 3.10, che sarà bloccato con un fissacavo;

Connessioni elettriche a spostamento di isolante (IDC)

- con terminali “RS-TAB” (vedi **Figura 3.11**);
- con terminali femmina “RS-FEMM” (vedi **Figura 3.12**);
- con terminali “RS-PIN”.

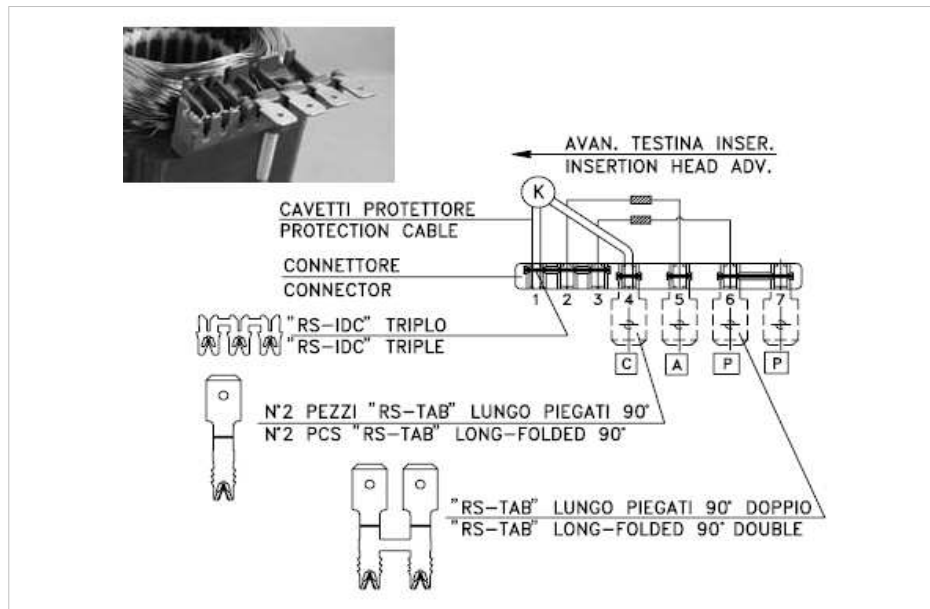


Figura 3.11 – Applicazione lineare realizzata con terminali RS-TAB.

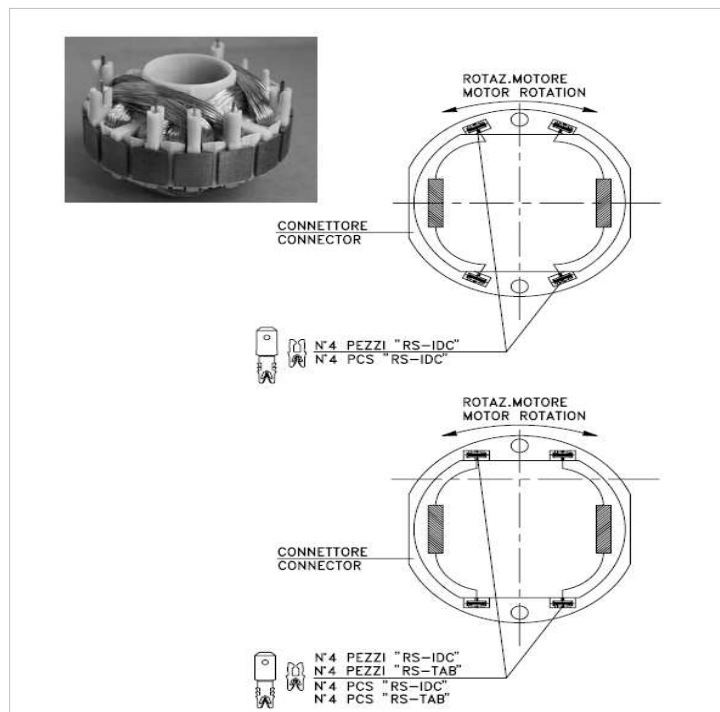


Figura 3.12 – Applicazione circolare realizzata con terminali RS-FEMM.

Nel caso in cui si utilizzi una connessione INAR-RS IDC, l'applicazione è realizzata mediante l'impiego di 2 macchine inseritrici (1 per terminali "RS-IDC" e 1 per terminali "fissacavo"). In tutte le altre tipologie è sufficiente una macchina e l'uscita dei cavi di alimentazione può essere interna o esterna rispetto all'avvolgimento del motore.

Nella prima fase la connessione tra filo e terminale avviene sulla parte inferiore dell'articolo "RS-IDC" mentre nella seconda la connessione dei cavetti avviene nella parte superiore dell'IDC precedentemente applicato, tramite il bloccaggio con fissacavo. Il risultato finale è rappresentato in **Figura 3.13**.

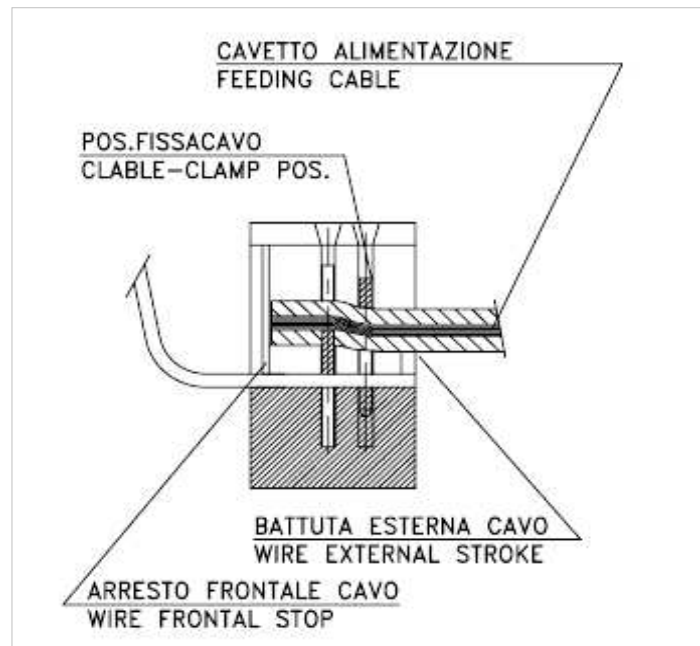


Figura 3.13 – Applicazione finale di un terminale RS-IDC.

La connessione con i modelli "RS-TAB" avviene direttamente sui fili e quindi con uscita verticale rispetto allo statore. Nel caso in cui sia richiesta un'uscita orizzontale, la connessione sarà realizzata con un apposito modello "RS-TAB" più lungo degli altri, che viene piegato fino a 90° dopo la fase di inserimento con un'apposita macchina (vedi **Figura 3.14**).

La connessione con i modelli "RS-FEMM" si realizza invece quando è necessaria la connessione tra schede a circuito stampato, con linguette da 0,4 ÷ 0,8 mm di spessore senza foro, e i fili degli avvolgimenti. Questa connessione avviene applicando direttamente il terminale sui fili smaltati con una macchina inseritrice e il successivo montaggio manuale delle schede (vedi **Figura 3.15**). La parte femmina del terminale è fornibile per 3 spessori della linguetta 0,4 – 0,5 – 0,8 mm. La larghezza della linguetta deve essere di 2,5 mm senza foro di aggancio e inoltre l'estremità deve avere lo smusso di invito per facilitare l'inserimento.

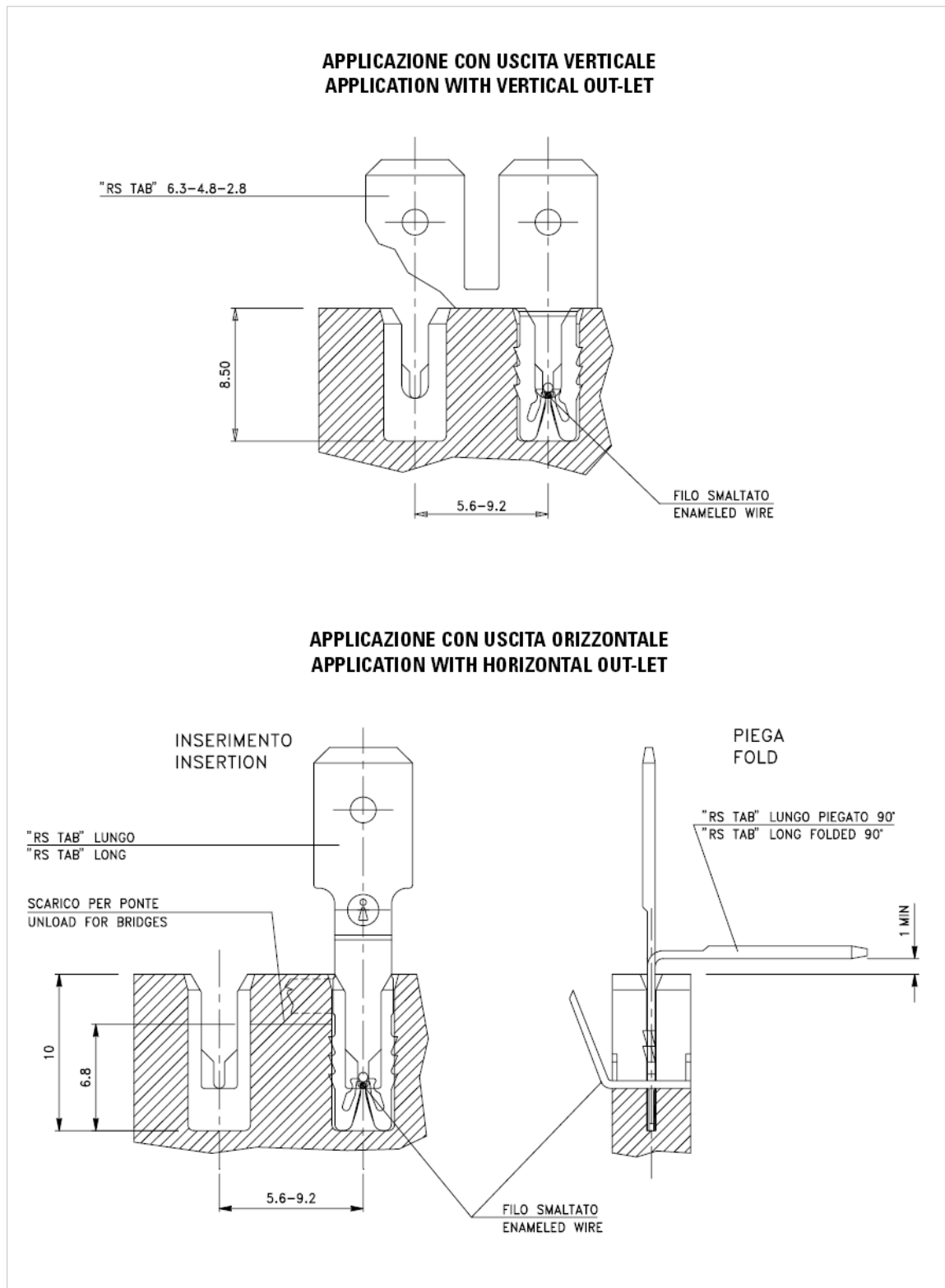


Figura 3.14 – Tecnologia di applicazione dei terminali RS-TAB.

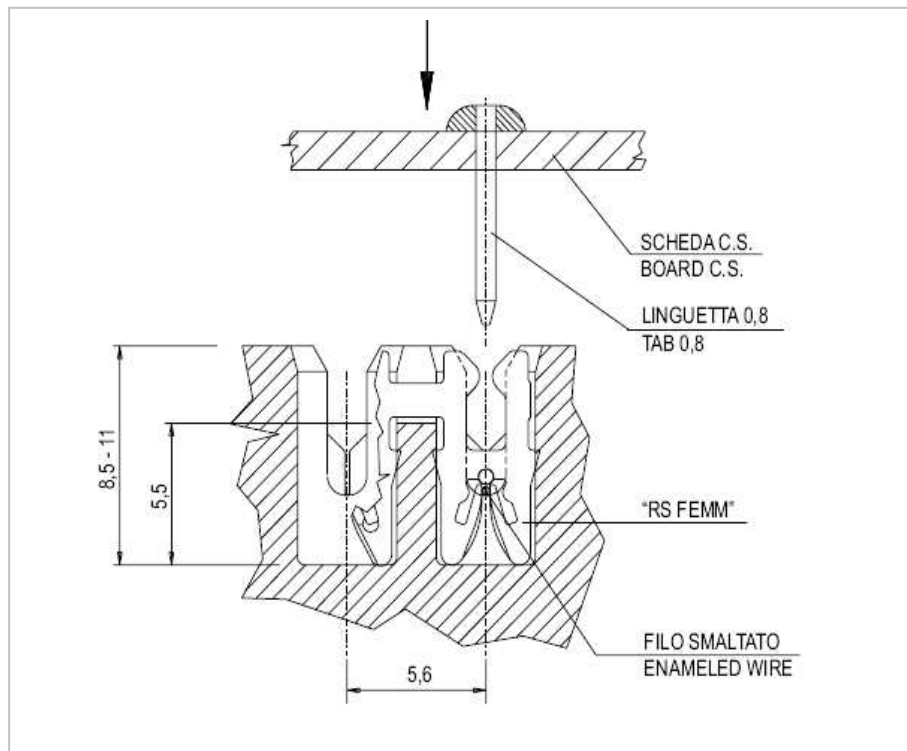


Figura 3.15 – Tecnologia di applicazione dei terminali RS-FEMM.

Nell'applicazione dei terminali INAR-RS è necessario attenersi ad opportuni accorgimenti nelle seguenti fasi:

- disposizione dei fili smaltati;
- disposizione dei cavetti;
- controlli di corretta applicazione.

Disposizione dei fili smaltati: i fili devono essere posizionati sul piano incudine filo all'interno del connettore e deve essere garantita, durante la manipolazione, la permanenza del filo nell'apposita feritoia di centraggio, che sarà di larghezza pari al diametro massimo dei fili processati.

I fili di diametro inferiore a 0,3 mm, per evitare lo scivolamento del filo stesso dentro la tasca, necessitano:

- del bloccaggio con i due punzoni premifilo;
- di un piano di appoggio filo opportunamente dimensionato;
- di un pretensionamento, ottenibile mediante la legatura manuale delle estremità sui piolini di aggancio, i quali verranno recisi dal coltello durante l'applicazione.

Per fili di diametro superiore a 0,3 mm, è sufficiente garantire l'alloggiamento all'interno della tasca e il rispetto del corretto posizionamento nelle rispettive tasche. Il filo proveniente dall'avvolgimento deve essere il più possibile parallelo e vicino al piano di appoggio ricavato nelle sedi dei connettori, ciò per non correre il rischio che durante la fase di inserimento dei terminali siano tranciati i fili stessi (vedi **Figura 3.16**).

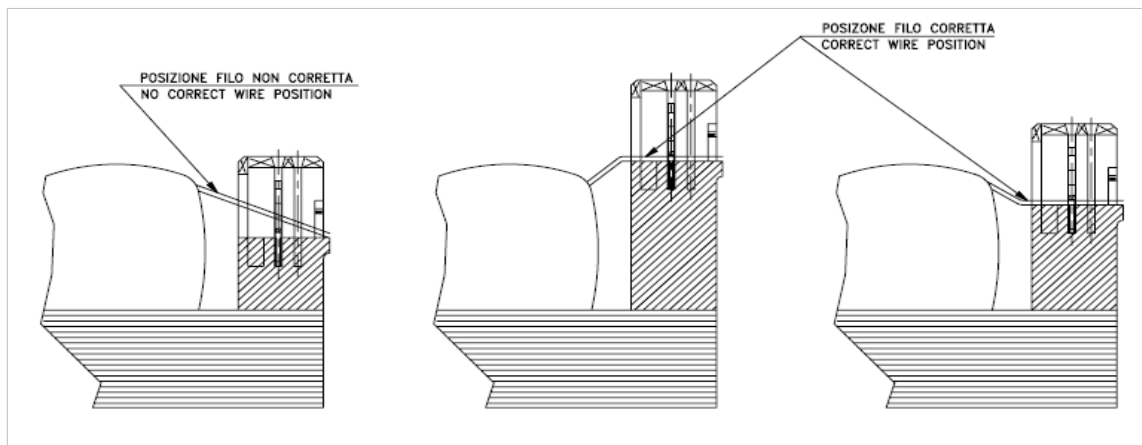


Figura 3.16 – Posizione del filo smaltato proveniente dall'avvolgimento da alimentare.

Disposizione dei cavetti: Nella connessione con i cavetti, nella parte superiore dell'articolo "RS-IDC", questi devono essere posizionati manualmente sulla battuta frontale del connettore e bloccati sull'apposita rastrelliera, per garantire un ancoraggio sicuro durante la movimentazione dello statore nella fase di inserimento del fissacavo. Qualora sia richiesta la connessione di cavetti nella parte inferiore, la tasca non può essere utilizzata per processare un filo smaltato. In questo caso il piano di appoggio del filo dovrà essere abbassato di una quantità stabilita, proporzionale al diametro del filo, tale valore viene definito di volta in volta in fase di progettazione (vedi Figura 3.17). Questi cavetti saranno rasati con le stesse modalità dei fili smaltati se disposti sul lato inferiore. Se disposti superiormente saranno bloccati dal fissacavo e l'operazione di rasatura sarà realizzata durante l'inserimento del fissacavo stesso. La connessione è possibile sia con cavetti rigidi che trefolati purché rientranti nel range previsto dall'articolo. In questo caso perché l'operazione di rasatura avvenga correttamente è necessario avere una contro-lama per favorire il trancio dei cavi. Ciò è possibile mediante la realizzazione di una tasca che presenti, nella parete vicino al punto di rasatura, un disassamento della sede di appoggio del cavo.

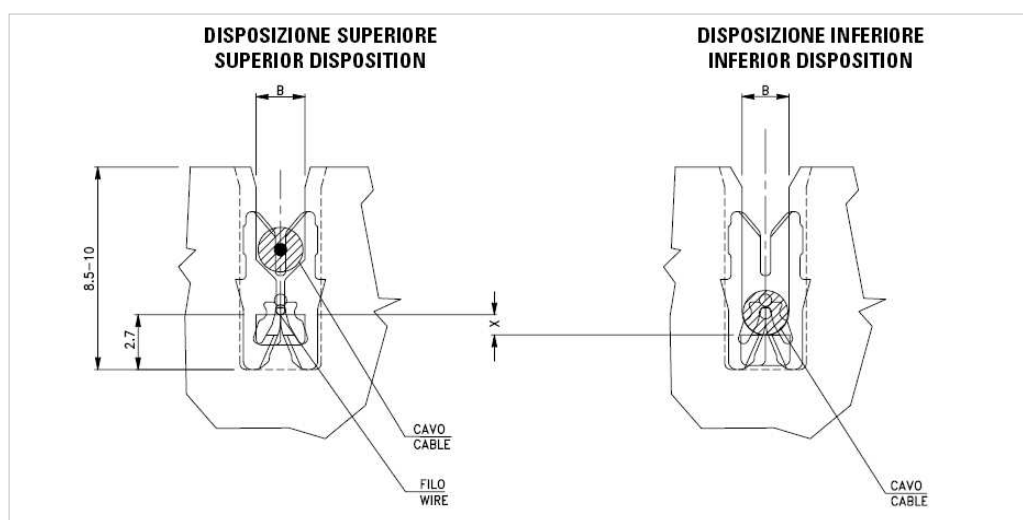


Figura 3.17 - Illustrazione di due diverse disposizioni dei cavi e dei fili smaltati all'interno dello stesso terminale RS.

Controlli di corretta applicazione: Dopo aver effettuato l'applicazione dei fili nei terminali è fondamentale svolgere delle verifiche per controllare che la connessione sia stata eseguita in modo corretto:

- verificare corrispondenza range terminali con la sezione del filo o cavetto;
- verificare che i fili smaltati o i cavetti (quando connessi sulla parte inferiore del terminale RS), al termine dell'applicazione, siano posizionati nel tratto rettilineo delle punte del terminale garantendo così il contatto (vedi **Figura 3.18**);
- verificare che i cavi o fili non siano tranciati o rovinati;
- verificare che i cavetti al termine dell'applicazione siano posizionati sui piani di appoggio del connettore e sulla battuta di arresto frontale, e che la spellatura della guaina avvenga senza tranciare i trefoli (vedi Figura 3.13);
- verificare che il fissacavo non sia eccessivamente stretto e non incida la guaina, oppure che sia troppo alto e non blocchi il cavo.

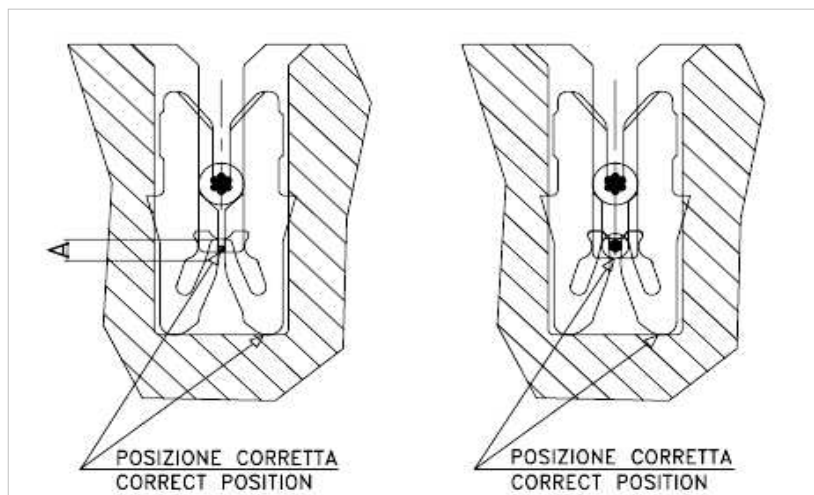


Figura 3.18 – Illustrazione del posizionamento del filo all'interno del terminale RS.

3.1.4 Macchine per l'applicazione dei prodotti INAR-RS

Come già accennato nel primo capitolo, INARCA progetta anche i sistemi di produzione e le macchine necessarie all'applicazione dei propri prodotti. I terminali vengono prodotti utilizzando degli *stampi lamiera progressivi*, mentre i connettori in materiale plastico vengono prodotti utilizzando degli *stampi ad iniezione*. Per quanto riguarda i sistemi di applicazione vengono utilizzate delle opportune *macchine applicatrici*, le quali possono essere manuali, semiautomatiche ed automatiche.

Come tutti i prodotti di INARCA, anche i connettori INAR-RS devono essere effettuate con unità applicative INARCA, questo per garantire la qualità dell'applicazione stessa. Sono fornibili diversi tipi di macchine con inserimento orizzontale e verticale dei terminali:

- teste singole fisse con alimentazione singola e doppia dei terminali da inserire su linee automatiche;
- teste con slitta elettrica orizzontale e verticale da inserire su linee automatiche;
- macchine da banco con staffaggi multipli e carico pezzi manuale;
- macchine e linee automatiche per grosse produzioni con carico-scarico automatico dei pezzi e controllo delle connessioni.

Di seguito saranno descritte le principali macchine, di tipo semiautomatico, impiegate da INARCA per l'inserimento dei terminali RS; per non appesantire troppo la trattazione, verranno tralasciate le caratteristiche tecniche di ciascuna macchina. Queste unità applicatrici sono chiamate *INAR-M25*.

Unità a testa singola per inserimento verticale di terminali RS: Le unità a testa singola, per inserimento di terminali su connettori lineari (housing), sono costruite per essere installate in linee di produzione. Il loro funzionamento è pneumatico, con caratteristiche tecniche all'avanguardia. L'operazione di inserimento può avvenire sia su motori elettrici "chiusi" (con avvolgimento non visibile) oppure "aperti" (con avvolgimento in vista) in successione automatica.

L'unità è costruita in osservanza delle più severe norme antinfortunistiche e mantiene un'ottima efficienza anche nell'uso più prolungato. Tale macchina è adatta per l'inserimento verticale di terminali RS su connettori aventi le tasche disposte su una circonferenza. L'alimentazione, il taglio, l'inserimento di uno o due terminali e il posizionamento angolare del connettore sono programmabili tramite *PLC*.

Il gruppo di inserimento è costituito da due slitte sovrapposte azionate da due cilindri pneumatici, una con regolazione fine per l'avvicinamento al connettore e l'altra a corsa fissa per il taglio e l'inserimento dei terminali. Il gruppo è montato su supporto verticale fisso e il tutto è chiuso da una protezione antinfortunistica. L'alimentazione pneumatica dei terminali può essere destra o sinistra oppure entrambe. Lo stacco dei terminali dalla bandella avviene meccanicamente ogni volta che il cilindro di inserimento avanza. L'inserimento può essere singolo (sx o dx), due singoli (sx + dx), un doppio (sx o dx), doppi (dx e sx).

I due pallet portano uno staffaggio per il centraggio degli statori che si innestano sui mandrini motorizzati posti sul bancale della macchina. Il corretto inserimento dei terminali avviene solo se i sensori di zero angolare-arrivo carrello e protezione sono stati azionati. I pallet sono dotati di vasca per contenimento dei cavi. Qualsiasi anomalia della macchina è visualizzata sul quadro comandi. L'avvio del ciclo è dato dall'operatore alla chiusura della protezione nella zona di carico. Gli statori con i connettori montati e i fili posizionati nelle tasche sono caricati e scaricati manualmente dall'operatore. Gli sfridi dei fili e dei piolini tagliati sono raccolti in un apposito contenitore.

Il ciclo della macchina è costituito dalle seguenti operazioni:

- carico manuale statore su dima di centraggio (lo statore deve avere i cavetti e i fili di alimentazione già posizionati all'interno);
- chiusura della protezione con consenso inizio ciclo;
- trasferimento pallet in zona inserimento terminali;
- avanzamento terminali e discesa testa inseritrice nella prima posizione;
- inserimento terminali (2 + 2), con rasatura dei piolini e dei fili o cavi in eccesso;
- ritorno a zero della testa inseritrice con rotazione di 90° del mandrino e ripetizione del ciclo di inserimento;
- uscita della slitta, apertura protezione e quindi scarico manuale dello statore.

Mentre vengono eseguite queste operazioni, la macchina si posiziona sul secondo pallet per iniziare un nuovo ciclo.

Macchine da banco per inserimento dei terminali RS: Il principio di funzionamento di queste macchine è uguale a quello delle unità a testa singola. In questo caso però, la macchina deve essere posizionata sopra un banco. A differenza delle unità a testa singola è presente un pallet singolo per il carico e lo scarico manuale degli statori completo di dima di centraggio statore e vaschetta di contenimento cavo di alimentazione.

In **Figura 3.19** è mostrata una foto della macchina applicatrice M25 utilizzata da INARCA:



Figura 3.19 – Macchina per inserimento terminali RS in versione base.

3.2 Connessioni IDC per cavi isolati con guaina (RAST)

Le connessioni IDC per cavi con guaina isolante (indicate con la sigla *RAST*) sono più usate rispetto alle connessioni RS. I cavi smaltati infatti vengono utilizzati solamente per specifiche applicazioni, come gli avvolgimenti dei motori. I cavi con guaina isolante rappresentano invece il vero e proprio stato dell'arte per quanto riguarda i conduttori elettrici, essi possono essere, a seconda delle necessità, sia cavi isolati a singolo filo oppure a trefoli. I fili trefolati non sono costituiti da un unico conduttore massiccio ma da tanti fili intrecciati (trefoli) che permettono una distribuzione uniforme della densità di corrente che attraversa il conduttore.

I connettori RAST sono largamente utilizzati in molti settori industriali, tipo quello degli elettrodomestici e delle apparecchiature elettroniche in generale. Questi connettori, dal punto di vista del collaudo finale, si possono suddividere in due grandi famiglie: i connettori a spostamento di isolante *accessibili* e quelli *non accessibili*.

Le connessioni IDC accessibili sono progettate in modo che i punti di misurazione per effettuare le necessarie prove tecniche di collaudo siano facilmente accessibili. Si riescono quindi a misurare sia le caratteristiche meccaniche che elettriche del connettore una volta completato il processo di connessione, senza dover abbandonare una qualunque delle caratteristiche di progettazione studiate. Di contro, la famiglia delle connessioni IDC non accessibili ha la caratteristica di non permettere l'accesso ai punti di misura necessari per effettuare le eventuali prove tecniche senza causare la perdita di una qualsiasi delle caratteristiche di progetto. Una volta effettuata questa distinzione fondamentale, che risulterà molto utile in seguito, possiamo descrivere nel dettaglio le caratteristiche di funzionamento dei connettori RAST.

3.2.1 Caratteristiche funzionali dei connettori RAST

Gli elementi principali che compongono un connettore RAST sono quattro: la zona di inserzione del cavo, la fessura di alloggiamento (o di connessione), i bordi interni delle alette e le alette stesse. La forma della zona di inserzione del cavo è stata studiata in modo da facilitare il posizionamento del cavo rispetto al terminale e, al tempo stesso, per iniziare l'azione di spostamento dell'isolante. La fessura di alloggiamento è lo spazio tra le due linguette (o alette) del terminale in cui il nucleo conduttore del cavo verrà collocato, al fine di stabilire il contatto elettrico. I bordi interni delle alette hanno lo scopo di proseguire e completare lo spostamento della guaina isolante. Le alette sono quindi la parte del terminale atta a garantire l'effettivo contatto con il conduttore. Tutte queste caratteristiche si possono osservare in **Figura 3.20**:

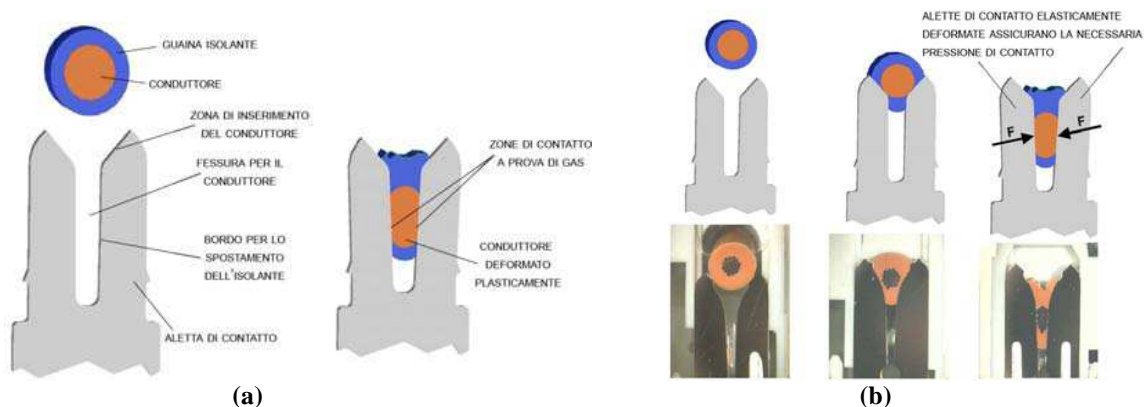


Figura 3.20 – Caratteristiche funzionali di una connessione IDC (a) e rappresentazione del processo per realizzarla (b).

La Figura 3.20 (b) illustra il processo di cablaggio di un connettore RAST ad un cavo a singolo conduttore. Si vede chiaramente come tale processo sia divisibile in due fasi: il posizionamento del cavo nell'area di inserzione e l'inserimento del cavo nella fessura del terminale. Le tre immagini mostrano, sia in forma ideale che in forma reale, i momenti cruciali del processo. Si vede infatti come durante l'inserimento la guaina isolante sia deformata dall'azione delle linguette del terminale e asportata dai lati del conduttore grazie all'azione dei bordi interni. Finito l'inserimento si vengono a formare, ai lati del conduttore, due aree di contatto con le linguette del terminale. Durante l'inserimento le linguette sono state deformate elasticamente. Tale deformazione elastica assicura che il terminale eserciti la pressione sul conduttore necessaria a mantenerlo nella posizione finale. Una deformazione elastica interessa anche il conduttore, che modifica la sua sezione circolare, come si osserva in Figura 3.20 (a). Per un cavo a trefoli avviene una cosa analoga, infatti il gruppo di fili viene deformato dall'azione di inserimento, modificando la forma di ciascun trefolo ed eliminando gli spazi vuoti.

Si vuole adesso entrare maggiormente nel dettaglio di ciò che accade durante l'inserimento del cavo. La guaina isolante del cavo deve venire rimossa per poter stabilire la desiderata interfaccia di contatto metallico tra il conduttore e il terminale. La rimozione dell'isolante durante l'inserimento è favorita dall'azione combinata di forze di attrito e forze trasversali al moto del cavo, mentre il cavo stesso scivola lungo le linguette del terminale. Le forze di attrito dipendono sia dalle caratteristiche del cavo che da quelle del terminale. Le forze appena citate sono riportate in **Figura 3.21**.

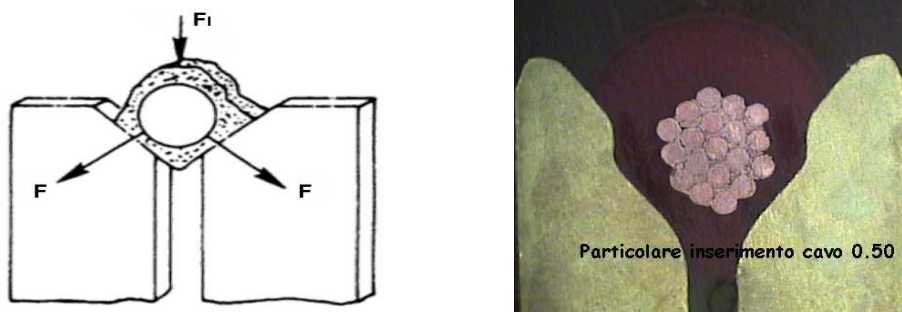


Figura 3.21 – Forze che agiscono durante l’inserzione del cavo con esempio reale (a destra).

Le caratteristiche importanti del cavo sono: lo spessore totale dell’isolante, il materiale della guaina isolante e lo spessore del nucleo conduttore. Le caratteristiche principali che riguardano il materiale isolante sono la sua durezza, il suo coefficiente di attrito e qualsiasi sia il tipo di legame che esso può stabilire con il conduttore al suo interno. La durezza influisce sulla facilità con cui l’isolante viene penetrato e interrotto per il suo spostamento. Il coefficiente di attrito invece influisce sulle forze che vengono esercitate sull’isolante mentre questo scivola sui bordi delle linguette; sono proprio queste forze di attrito che fanno presa sulla guaina a dare inizio al processo di spostamento dell’isolante. La facilità e ripetibilità dello spostamento dell’isolante quindi dipende fortemente dal materiale utilizzato per l’isolamento elettrico e dalle modalità di inserzione. Lo spessore della guaina è importante per due aspetti: il primo riguarda le guaine isolanti, infatti più sono spesse e più difficili sono da rimuovere; in secondo luogo, se non tutto l’isolante viene spostato, le linguette di contatto del terminale possono subire una flessione superiore a quella per cui sono state progettate e possono quindi subire uno stress troppo elevato, passando da una deformazione elastica ad una di tipo plastico. Se questo avviene, le forze normali residue sulle linguette del terminale sono fortemente compromesse dalla permanente posizione che sono state costrette ad assumere le linguette stesse. Infatti una deformazione elastica comporta il ritorno delle linguette nella posizione originale, mentre una deformazione plastica modifica permanentemente la posizione originale stessa delle linguette.

Per quanto riguarda il nucleo conduttore del cavo, sono importanti il diametro e la stabilità della sezione trasversale. La dimensione influisce sulle caratteristiche di flessione delle linguette. Per conduttori singoli sia la dimensione che la stabilità sono caratteristiche intrinseche, mentre per conduttori a trefoli queste due caratteristiche devono essere specificate. Il motivo sta nel fatto che si verifica, al momento dell’inserimento del cavo, un riassetto della disposizione dei trefoli, provocando una diminuzione della deformazione che influisce sulla creazione della superficie di contatto. Inoltre la riduzione del diametro del fascio di trefoli causa una riduzione anche della flessione delle linguette, che a sua volta provoca una riduzione nella forza normale residua della connessione e quindi al tempo stesso una diminuzione della stabilità sia elettrica che meccanica della connessione. La stabilità della sezione trasversale del conduttore dipende invece dal numero e dalla disposizione dei singoli trefoli.

In riferimento al terminale sono invece importanti diversi fattori, tra i quali l’angolo di invito nella zona di inserimento, la finitura superficiale di contatto e la rugosità delle estremità interne delle linguette in contatto con l’isolante. La forza di attrito dipende dalla forza esercitata dalle linguette che a sua volta dipende dalle dimensioni delle linguette stesse e della fessura di alloggiamento. Di nuovo ci si trova di fronte ad un problema di compromessi per raggiungere le migliori (ottime) prestazioni del connettore: elevate forze di attrito sono desiderabili per assicurare lo spostamento dell’isolante ma allo stesso tempo implicano elevate forze di inserzione.

In molti casi lo stress massimo che le linguette devono sopportare si ha nel momento dell'inserzione del cavo, soprattutto se l'isolante risulta difficile da spostare; è quindi importante anche il progetto degli strumenti per la realizzazione della connessione a spostamento di isolante. Di primaria importanza è assicurarsi che il fascio di conduttori sia mantenuto stabile e la posizione finale del cavo processato nel terminale sia quella prevista in sede di progetto. Infine è necessario sottolineare che il progetto del terminale è molto importante anche allo scopo di assicurare che il conduttore non venga mai danneggiato durante il procedimento di connessione, poiché verrebbero intaccate sia le qualità meccaniche che elettriche.

Quando il conduttore raggiunge la posizione finale all'interno del terminale, sono di particolare interesse due parametri di progetto: l'area di contatto che si viene a creare tra il conduttore e la parte interna delle linguette del terminale e la forza normale residua che deve mantenere l'integrità dell'area di contatto. Questi due parametri si possono osservare in **Figura 3.22**:

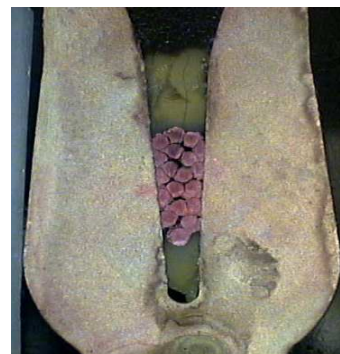
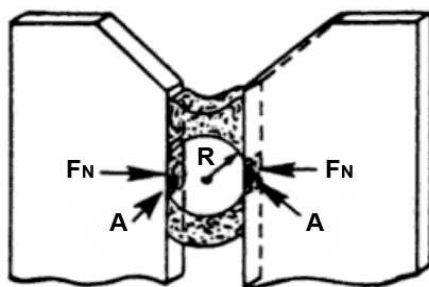


Figura 3.22 – Forze che agiscono dopo l'inserzione del cavo nel terminale con esempio reale (destra).

L'area di contatto tra i due elementi (indicata in Figura 3.22 con "A") influisce sulla resistenza elettrica di contatto e più in generale sulla resistenza elettrica di connessione. In relazione alle diverse soluzioni di progetto dei terminali elettrici in questione, in particolare se ci sono due fessure di alloggiamento o una sola, possono essere generate quattro o due aree di contatto rispettivamente. L'area di contatto dipende dalla deformazione che il nucleo del conduttore subisce contro le linguette durante il suo inserimento nel terminale e dallo spessore delle linguette stesse. La forza normale residua (indicata in Figura 3.22 con "F_N") applicata al conduttore è determinata dalla flessione delle linguette del terminale e dalla loro geometria. Infine la flessione è a sua volta determinata dalla deformazione che il conduttore subisce in seguito all'inserzione.

3.2.2 Controllo della deformazione del conduttore

Uno degli aspetti progettuali più importanti per quanto riguarda le connessioni elettriche a spostamento di isolante è il controllo della deformazione del conduttore. La trattazione di questo fenomeno vale anche per le connessioni IDC per fili smaltati.

La deformazione nella terminazione IDC non è così marcata come nella terminazione tramite aggraffatura, ma vengono comunque applicati gli stessi meccanismi. La deformazione dei conduttori, a seguito dell'asportazione dell'isolante, e degli eventuali ossidi presenti sui conduttori permettono la creazione di interfacce di contatto metalliche. Una volta che l'area di contatto è stata stabilita, la sua integrità e stabilità viene mantenuta e garantita dalla forza normale residua risultante dalla flessione delle linguette del terminale. E' di nuovo necessario a questo punto effettuare un bilancio tra necessità contrastanti: da un lato è necessario che la forza residua sia elevata per assicurare che l'integrità

dell'area di contatto sia mantenuta nel tempo, mentre gli effetti di una forza eccessiva vanno a gravare sulla deformazione del conduttore che non deve essere troppo elevata.

In **Figura 3.23** si può osservare una schematica rappresentazione della relazione che intercorre tra la deformazione del conduttore, la flessione delle linguette del terminale e la forza normale di contatto.

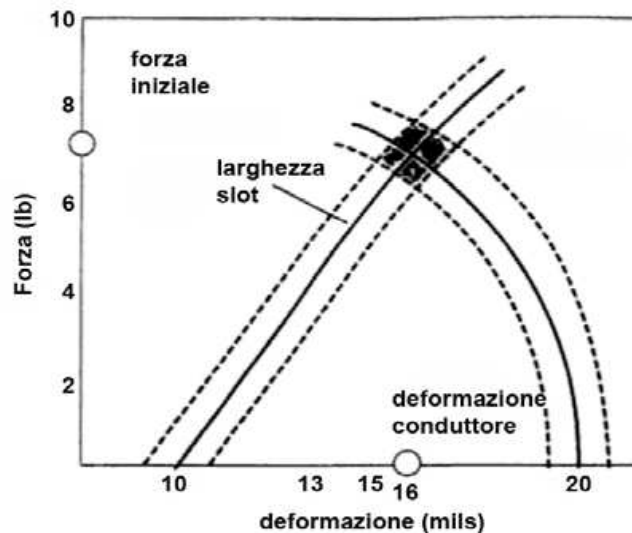


Figura 3.23 – Rappresentazione schematica della relazione tra la forza di contatto e la deformazione delle alette, e tra la forza di contatto e la deformazione del nucleo del conduttore.

La deformazione che interessa il conduttore (che in questo caso si è assunto essere un singolo filo) e la flessione delle linguette sono indicate separatamente nel grafico di Figura 3.23.

La linea piena, in ciascuna curva, rappresenta il valore nominale della distanza tra le linguette e rispettivamente del diametro del conduttore; le linee tratteggiate indicano invece la tolleranza che si ha attorno a questi valori nominali. La deformazione che coinvolge i conduttori può essere molto complicata da definire, soprattutto nel caso di fili a trefoli. La forma che la curva assume nel grafico indica che la deformazione del conduttore è di tipo plastico. La variazione della sezione trasversale, cioè la deformazione radiale del conduttore, è evidente dal grafico, bisogna però notare che il filo viene allungato anche longitudinalmente. La zona colorata di nero in Figura 3.23 indica la zona di lavoro ad inserzione avvenuta.

Dopo aver definito la deformazione del conduttore in relazione ad altre caratteristiche fondamentali delle connessioni IDC, possiamo suddividere i terminali in due gruppi: quelli a singola fessura e quelli a doppia fessura. I terminali a singola fessura penetrano molto facilmente la guaina isolante che ricopre il conduttore. Per i terminali a fessura doppia invece, a seconda delle esigenze, si possono verificare molte scelte differenti riguardo la geometria. Questi terminali hanno la stessa caratteristica principale, ovvero la presenza di due fessure per l'alloggio, in modo che il cavo venga processato in due sezioni e che si vengano a formare in totale quattro aree di contatto elettrico. In particolare, questo tipo di terminali consentono di avere i maggiori benefici quando il nucleo conduttore del cavo isolato è composto da trefoli: infatti, fissando il cavo in due punti diversi simultaneamente, è possibile stabilizzare la conformazione del fascio di trefoli durante l'inserzione evitando eccessive deformazioni che provocherebbero una diminuzione della conducibilità elettrica.

3.2.3 Prodotti INAR-RAST

INARCA produce attualmente tre serie diverse di connessioni elettriche IDC per fili isolati con guaina, questi prodotti vengono denominati *INAR-RAST*. Di seguito sono descritte le applicazioni e le caratteristiche di queste serie di prodotti.

RAST 2,5: Il sistema di connessione a spostamento di isolante *INAR-RAST 2,5* è stato progettato per essere utilizzato su circuiti stampati. Il connettore è dotato di sistemi di aggancio diversi a seconda del tipo di circuito stampato (*scheda*) su cui deve essere inserito. Tale componente è adatto alla trasmissione di correnti di controllo e di segnali.

Sono disponibili connettori da 3 fino a 20 vie polarizzabili dal cablatore, con apposite attrezzature fornite da INARCA. Il sistema è composto da 3 componenti: l'housing, il terminale ed il guscio.

Il connettore realizzato per collegamenti elettrici da 3 fino a 20 vie alloggia al suo interno i terminali metallici con passo di 2,5 mm. È possibile realizzare il passo 5 mm lasciando alternativamente libera una sede tra i terminali (sui connettori a numero di vie dispari).

La connessione tra terminali metallici e cavi elettrici avviene applicando la tecnologia a spostamento d'isolante, sfruttando la forma a doppia forcina del terminale. Si ottengono quindi quattro punti di contatto tra terminale e cavo. Successivamente all'operazione di cablaggio, il prodotto viene chiuso tramite il coperchio incernierato, che garantisce l'isolamento del sistema e aumenta la ritenzione meccanica dei cavi.

Il metodo di assemblaggio del prodotto INAR-RAST 2,5 è mostrato in **Figura 3.24**:

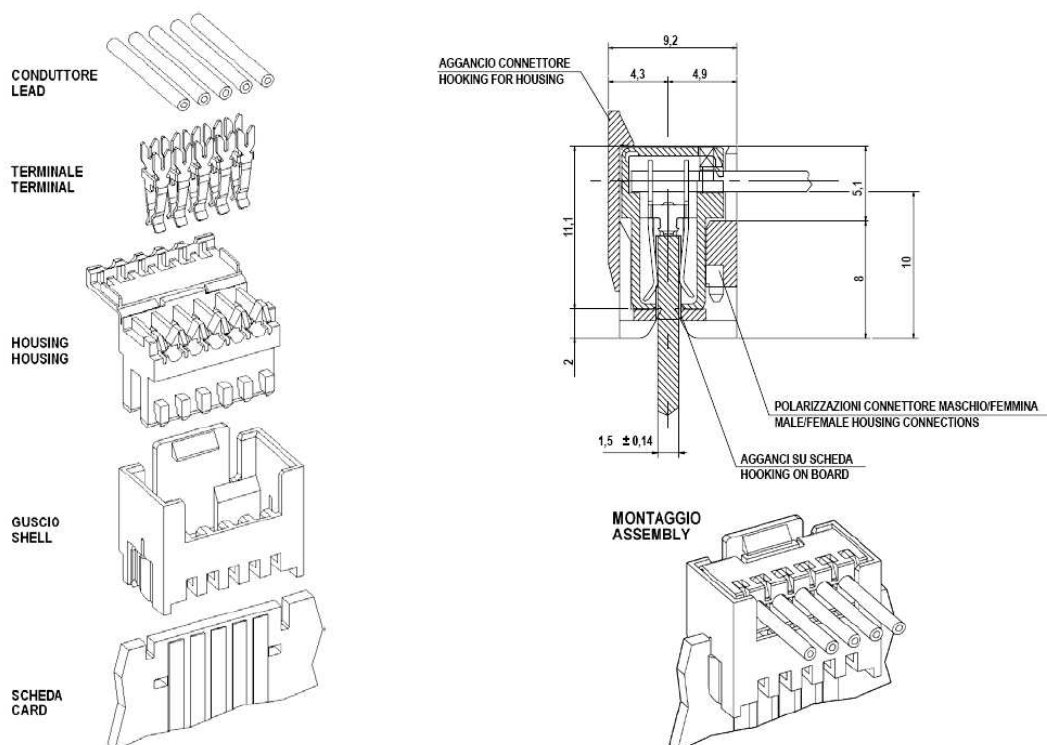


Figura 3.24 – Montaggio completo di un connettore INAR-RAST 2,5.

RAST 2,5 ENERGY: Il sistema di connessione a spostamento di isolante *INAR-RAST 2,5 ENERGY* è stato progettato per essere utilizzato su circuiti stampati. È adatto a consentire correnti maggiori rispetto alla tipologia RAST 2,5.

I connettori della serie possono avere l'uscita dei cavi anche a 180°, con bloccaggio dei fili sulla portina del connettore.

In **Figura 3.25** è illustrato un esempio di connettore *INAR-RAST 2,5 ENERGY*:

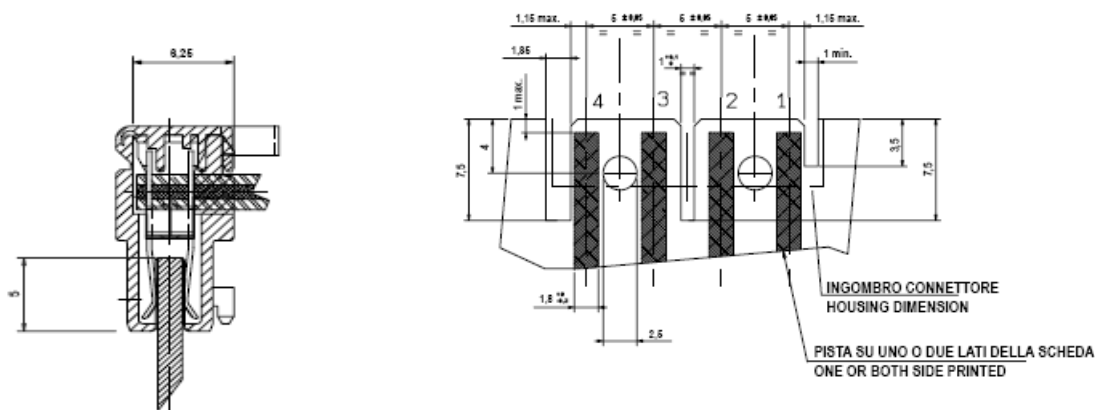


Figura 3.25 – Illustrazione di un connettore *INAR-RAST 2,5 ENERGY*.

RAST 5 TC: Il sistema di connessione a spostamento di isolante *INAR-RAST 5 TC* è stato progettato per essere utilizzato con controparte maschio. I connettori della serie possono avere l'uscita dei cavi anche a 180°, con bloccaggio dei fili sulla portina del connettore.

I prodotti della serie RAST 5 TC trovano un campo di utilizzo (sezione cavo) maggiore rispetto a quello delle serie RAST 2,5. Per questo motivo, solamente per questo prodotto è necessario fornire il tipo di connettore più adatto alla sezione e alla portata di corrente richiesta nell'applicazione. E' naturalmente fondamentale che il cavo utilizzato sia dimensionalmente adatto al passaggio di corrente previsto dall'applicazione finale.

In **Figura 3.26** è illustrato un esempio di connettore *INAR-RAST 5 TC*:

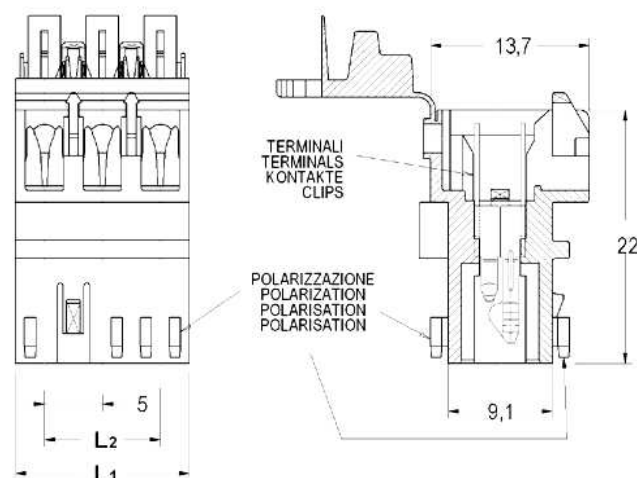


Figura 3.26 – Illustrazione di un connettore *INAR-RAST 5 TC*.

Connessioni elettriche a spostamento di isolante (IDC)

Dopo aver definito brevemente l'utilizzo delle 3 serie di prodotti INAR-RAST, verranno riportati, in **Tabella 3.1**, le caratteristiche tecniche di tali prodotti.

	DATI TECNICI TECHNICAL DATA	Rast 2,5	Rast 2,5 Energy	Rast 5 T.C.
CONDUTTORE/LEAD	Sezione nominale: Rated section:	0,22 ÷ 0,35 mm ² (22÷24 AWG)	0,35 ÷ 0,75 mm ²	0,35 ÷ 1,5 mm ²
	Diametro isolante: Insulation diameter:	1,2 ÷ 1,7 mm	1,40 ÷ 2,40 mm	1,40 ÷ 3,00 mm
	Durezza dell'isolante: Insulation hardness:	Shore A 90° ± 5°	Shore A 90° ± 5°	Shore A 90° ± 5°
		IL CAVO PROCESSABILE DEVE ESSERE OMOLOGATO DA INARCA THE CABLE TO BE PROCESSED MUST BE APPROVED BY INARCA		
TERMINALE/TERMINAL	Materiale: Material:	CuSn	CuSn	CuZn - CuNiSiMg
	Rivestimento superficiale: Surface coating:	Pre-TIN	Pre-TIN	Pre-TIN
	Portata di corrente: Current capacity:	2÷4 A (vedi derating curve) 2÷4 A (see derating curve)	fino a 6 A (vedi derating curve) up to 6 A (see derating curve)	fino a 16 A (vedi derating curve); up to 16 A (see derating curve)
	Tensione nominale: Rated voltage:	32 V AC/Rast 2,5 mm 250 V AC/Rast 5 mm	250 V AC	250 V AC
	Resistenza di contatto: Contact resistance:	< 10 mOhm	< 10 mOhm	< 5 mOhm
	Campo di temperatura: Temperature range:	da/from -40 °C a/to +125 °C	da/from -40 °C a/to +125 °C	da/from -40 °C a/to +110 °C (CuZn) da/from -40 °C a/to +125 °C (CuNiSiMg)
	Forza di inserzione su: Connecting force on:	scheda: < 6 N per via card: < 6 N each way	scheda: < 9 N per via card: < 9 N each way	terminale maschio: < 10 N per via tab: < 10 N each way
	Forza di disinserione da: Disconnecting force from:	scheda: > 2,5 N per via card: > 2,5 N each way	scheda: > 2,5 N per via card: > 2,5 N each way	terminale maschio: > 3 N per via tab: > 3 N each way
HOUSING	Materiale: Material:	PA 66 - GWT 750°C no flame	PA 66 - GWT 750°C no flame	PA 66 - GWT 750°C no flame
	Classe di autoestinguenza: Self-extinguishing class:	UL 94 V2/V0	UL 94 V2/V0	UL 94 V2/V0
	Colore: Color:	naturale - altri a richiesta natural - other colors as requested	naturale - altri a richiesta natural - other colors as requested	naturale - altri a richiesta natural - other colors as requested
	Abbinabile con: Connectable with:	Scheda o pin spessore: Card or pin thickness 1,5 ± 0,14 mm	Scheda o pin spessore: Card or pin thickness 1,5 ± 0,14 mm	Terminale maschio Tab 6,3x0,8 - DIN 46244
	Resistenza alle correnti striscianti: Tracking test:	CTI 250 V	CTI 250 V	CTI 250 V
	Rigidità Dielettrica: Dielectric strength:	1250 V/Rast 2,5 mm 3000 V/Rast 5 mm	3000 V	3000 V
	Distanza in aria: Air distance:	> 1 mm (Rast 2,5 mm) > 3 mm (Rast 5 mm)	> 3 mm	> 3 mm
	Numero di vie: Number of ways:	3 ÷ 20	2 ÷ 12	1 ÷ 10 (i connettori ad 1 via sono previsti con l'aggancio sul terminale) (1 way connector with metallic locking device)

Tabella 3.1 – Dati tecnici della gamma di prodotti INAR-RAST.

3.2.4 Macchine per l'applicazione dei prodotti INAR-RAST

Per processare i connettori INAR-RAST vengono progettate da INARCA attrezzature manuali (*pinze*), macchine semiautomatiche (*miniapplicatori*) e macchine automatiche.

Pinze per processare i connettori INAR-RAST (vedi Figura 3.27): Le pinze per processare i connettori INAR-RAST sono disponibili nelle versioni per: RAST 2,5, RAST 2,5 ENERGY e RAST 5. Queste attrezzature di tipo manuale sono uno strumento utile per processare piccoli lotti, per la preparazione di campionature, per le riprese a bordo linea o per il servizio di manutenzione sul campo. Le pinze consentono di processare tutti i tipi di connettori IDC isolati con guaina prodotti da INARCA, senza alcuna regolazione, mentre per la scelta della sezione del cavo è sufficiente agire su una ghiera graduata. Il corretto inserimento del filo è garantito dal rispetto del sistema certificato da INARCA per tutte le attrezzature per connettori RAST.



Figura 3.27 – Pinza per processare i connettori INAR-RAST.

Miniapplicatori per processare i connettori INAR-RAST (vedi Figura 3.28): I miniapplicatori per processare i connettori INAR-RAST sono disponibili nelle versioni per: RAST 2,5, RAST 2,5 ENERGY e RAST 5. Queste macchine, di tipo semiautomatico, consentono una produttività simile ai tradizionali miniapplicatori per aggraffare. Questi miniapplicatori sono di tipo pneumatico e per l'utilizzo hanno bisogno di una comune pressa; l'unico accorgimento sono le protezioni, che devono essere adattate alla struttura della macchina. INARCA può fornire, al cliente finale, le presse con la protezione modificata.

I miniapplicatori, consentono di processare tutti i tipi di connettori IDC isolati con guaina di produzione INARCA senza alcuna regolazione, mentre per la scelta della sezione del cavo è sufficiente agire sulla regolazione micrometrica della testina.

Il corretto inserimento del filo è garantito dal rispetto del sistema certificato da INARCA per tutte le attrezzature per connettori RAST.

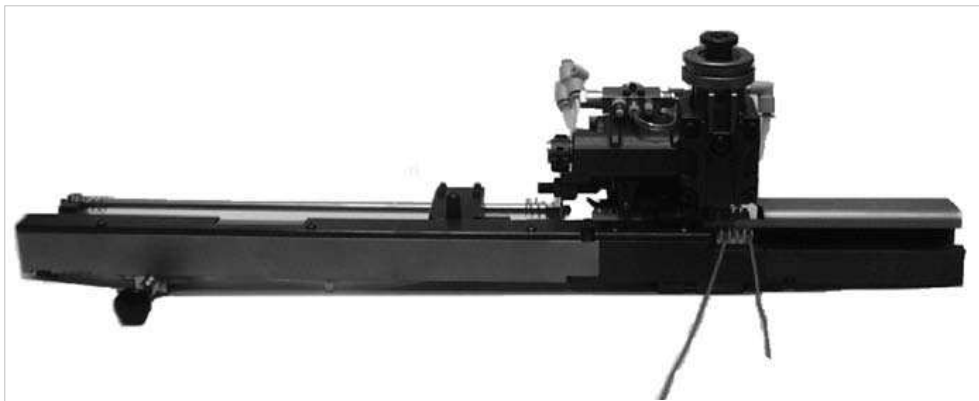


Figura 3.28 – Miniapplicatore per processare i connettori INAR-RAST.

Macchine automatiche serie AHM EVOLUTION per processare connettori INAR-RAST: Le macchine automatiche serie AHM EVOLUTION rappresentano un sistema innovativo di trasferimento prodotto a pallet, consentendo un allestimento modulare e componibile in funzione delle diverse esigenze. L'utilizzo dei sistemi a servomotore per il posizionamento dei pallet permette un preciso posizionamento dei connettori per l'inserimento del cavo, in modo da garantire la qualità richiesta. La dinamica di tale sistema, insieme al sistema indipendente di alimentazione per singolo filo, consente di raggiungere prestazioni altamente performanti: permette alla macchina di produrre cablaggi con ciclo, nella configurazione più completa, di 5,4 secondi a pallet, corrispondenti a circa 8000 fili/ora. Può essere configurato da un minimo di 2 ad un massimo di 12 sistemi di alimentazione filo, per la produzione di moduli di cablaggio con connettori a spostamento di isolante e terminali aggraffati, secondo le richieste specifiche del cliente. Può eseguire incroci dei conduttori rispetto alle vie adiacenti dei connettori e realizzare cablaggi a "Z". Le presse di aggraffatura, se richieste, possono essere dotate di sistemi di misura e controllo della forza di aggraffatura.

Un dispositivo meccanico (opzionale) di alta precisione può eseguire la polarizzazione di tutti i connettori presenti sul pallet. Si possono adottare anche controlli delle lavorazioni eseguite, con sistemi a telecamera che garantiscono al 100% l'assenza di difetti.

La macchina è gestita elettronicamente da un PLC e corredata di un "touch screen" di interfaccia con l'operatore e da un PC utilizzato per la supervisione del processo della linea. Tutte le funzioni della macchina sono gestite tramite questa interfaccia e i dati relativi alla produzione, sono memorizzati dal sistema.

Le macchine INAR AHM EVOLUTION vengono prodotte in due versioni:

- AHM 25 EVOLUTION per RAST 2,5;
- AHM 50 EVOLUTION per RAST 2,5 ENERGY e RAST 5.

Queste macchine possono essere configurate con minimo 2 stazioni di alimentazione, ma per l'inserimento filo lato testa e per l'inserimento filo lato coda, fino ad un massimo di 12 stazioni più 6.

Entrambe le macchine serie AHM EVOLUTION presentano le stesse caratteristiche tecniche:

- alimentazione elettrica: 400V +/-10% (3F+T) 50 Hz;
- alimentazione pneumatica: 6 [bar];
- dimensioni di ingombro: da 4,5 m a 16 m di lunghezza per 4 m di larghezza;
- rumorosità: inferiore a 78 db(A).

Nella **Figura 3.29** è raffigurata una macchina serie AHM EVOLUTION e dei connettori cablati INAR-RAST:



Figura 3.29 – Macchina automatica serie AHM EVOLUTION (a sinistra) ed applicazioni complete INAR-RAST (a destra).

3.3 Vantaggi e svantaggi delle connessioni IDC

In quest'ultima sezione si vogliono elencare esplicitamente quali sono i vantaggi e gli svantaggi offerti dalla tecnica di connessione a spostamento di isolante rispetto all'aggraffatura, che rappresenta l'altra tecnologia analizzata per le connessioni elettriche prive di saldatura.

- Le connessioni a spostamento di isolante hanno, come primissimo vantaggio, il fatto di non necessitare di alcun tipo di preparazione preventiva del cavo da connettere al terminale. Infatti, come si è potuto osservare già nei precedenti paragrafi, il cavo viene inserito direttamente nel terminale con la guaina (o smalto) isolante integra. Invece l'aggraffatura richiede che l'isolante del cavo sia precedentemente asportato per poter eseguire la connessione del terminale. Questo fatto semplifica notevolmente il processo produttivo dei componenti e riduce le cause di errori e gli scarti di produzione. Ovviamente i costi e i tempi di lavoro sono minori.
- Un altro vantaggio riscontrabile per le connessioni IDC riguarda il fatto che i terminali sono già montati nei loro supporti di plastica (housing), in questo modo una volta stabilita la connessione tra il terminale e il cavo elettrico il connettore è realizzato e non sono necessarie ulteriori operazioni. Le connessioni tramite aggraffatura non permettono questo fatto, infatti richiedono che i terminali siano liberi per effettuare la connessione e solo successivamente si può isolare il terminale con il relativo housing di plastica.
- Un ulteriore vantaggio riguarda un parametro di processo: la forza o pressione di inserzione che la pressa deve esercitare in fase di produzione del terminale. La forza di inserzione nelle connessioni a spostamento di isolante risulta minore rispetto alla forza necessaria a piegare le alette del terminale per l'aggraffatura.

- Infine il vantaggio più significativo riguarda la notevole duttilità del connettore progettato per una connessione a spostamento di isolante. L'unione dei terminali più l'housing relativo infatti può essere utilizzata in catene di montaggio automatizzate per produrre cablaggi molto differenti. E' possibile decidere non solo il numero di vie in cui inserire i cavi, ma anche in quali vie connettere i cavi. Si capisce quindi la grande varietà di cablaggi che possono essere effettuati con estrema facilità, utilizzando sempre lo stesso prodotto. Tutto questo non è possibile con la tecnica dell'aggraffatura.
- Lo svantaggio delle connessioni a spostamento di isolante riguarda la portata elettrica; al momento infatti, i terminali per le connessioni IDC riescono a sopportare un passaggio di corrente al massimo di 25 A, che è minore rispetto a quello relativo ai terminali per l'aggraffatura.

Mettendo a confronto le due tecniche di connessione per correnti inferiori ai 25 A possiamo notare che le connessioni a spostamento di isolante sono tecnologicamente equivalenti rispetto all'aggraffatura e possono essere usate nello stesso tipo di applicazioni, però hanno come vantaggio cruciale la maggiore velocità di produzione unita ad un costo minore e ad una flessibilità più elevata.

In conclusione consideriamo i due sistemi di connessione dal punto di vista dell'utilizzatore finale: nel caso delle connessioni crimp (aggraffate) il cliente finale deve effettuare egli stesso l'operazione di aggraffatura del cavo con il terminale, grazie alle connessioni IDC invece questa operazione viene effettuata direttamente dal fornitore; quest'ultima considerazione viene illustrata nello schema a blocchi di **Figura 3.30**:

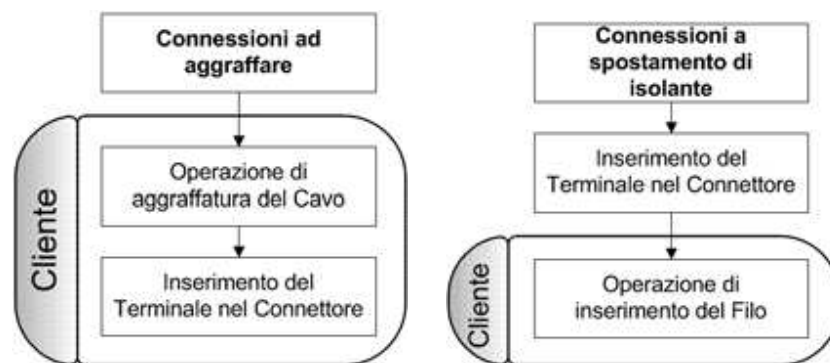


Figura 3.30 – Differenza di utilizzazione tra le connessioni crimp e le connessioni IDC.

4. Analisi delle Normative Internazionali

Alla base dei progetti e delle applicazioni riguardanti le connessioni elettriche ci sono delle valutazioni da fare per determinare quale sia il più appropriato sistema di connessione da poter utilizzare; si devono considerare le unità che si devono connettere oppure le specifiche funzionali, fisiche, elettriche, meccaniche ed ambientali richieste. Se si deve, per esempio, effettuare una connessione direttamente su di un motore, la forza normale di contatto deve essere in grado di sopportare le vibrazioni generate dal motore stesso; analogamente si può considerare un cavo piatto, è evidente che esso avrà bisogno di un connettore differente rispetto ad un cavo a sezione circolare di diametro grande per una linea di alimentazione di potenza.

L'ambiente, come si è potuto già osservare, gioca un ruolo molto importante nel progetto e nella selezione dei materiali da utilizzare per ciascun tipo di housing e di terminale. Sebbene la funzione base di un connettore sia di provvedere un'interconnessione elettrica, un gran numero di fattori non elettrici discriminano il tipo di sistema di connessione da utilizzare nei diversi casi. Per esempio necessità meccaniche come la dimensione, la forma, l'impatto, il montaggio e la forza di accoppiamento/disaccoppiamento devono essere prese in considerazione. Inoltre aspetti relativi all'ambiente come la temperatura (i cicli termici), l'umidità, i contaminanti (solidi, liquidi e gassosi), gli urti, le vibrazioni ed il grado di isolamento (*IP*) complicano notevolmente il progetto ed il processo produttivo; quindi le richieste elettriche spesso vanno oltre le semplici specifiche di tensione e corrente. Molte applicazioni richiedono analisi di riguardo: resistenza di contatto, impedenza del terminale, polarità e livello di isolamento. Per soddisfare queste richieste, spesso discordanti, si è sviluppato vero e proprio ramo ingegneristico, allo scopo di venire incontro a tutte le richieste mantenendo un costo

di produzione limitato.

Allo scopo di considerare tutti i parametri succitati e di garantire una qualità elevata per i prodotti si sono state sviluppate una serie di Normative Internazionali e di standard industriali. In questo capitolo si vogliono analizzare dettagliatamente molte delle prescrizioni che attualmente regolano la produzione e definiscono la qualità dei connettori elettrici. La famiglia di connettori a cui sarà dedicata questa analisi sono le connessioni elettriche a spostamento di isolante. Nel seguente testo, tutti i riferimenti alle Normative Internazionali ed agli Enti di Certificazione Industriale saranno esplicitamente riportati. In conclusione, è doveroso ricordare che tutte le norme sono rigidamente seguite da INARCA nella realizzazione delle connessioni elettriche IDC in modo da proporre sul mercato prodotti certificati a livello mondiale.

4.1 Enti di Normazione e di Certificazione

In questa sezione viene presentata una breve descrizione della struttura normativa in generale e degli *Organi di Normazione e Certificazione* presenti a livello internazionale. Come già ricordato in precedenza, esistono Normative Internazionali dettate dai *Comitati Tecnici* degli *Enti Normatori* e delle prescrizioni industriali redatte da organizzazioni, che consentono alle aziende produttrici di acquisire l'omologazione dei propri prodotti. Queste certificazioni garantiscono la qualità e l'affidabilità dei prodotti da presentare sul mercato. Questo tipo di regolamentazione vale, non solo per i connettori, ma anche per tutti i componenti, gli impianti e le apparecchiature elettriche.

Con la definizione *Normativa Elettrica* si intende l'insieme di leggi, norme di attuazione e norme di riferimento tecnico che disciplinano il settore dell'impiantistica elettrica. La Normativa Elettrica ha sempre svolto un ruolo di primaria importanza nella produzione e nel commercio. I documenti normativi, che includono i codici di pratica e le guide oltre alle norme vere e proprie, aiutano allo sviluppo delle industrie e dei servizi, sostengono la compatibilità dell'operare e riducono i costi attraverso l'uso di parti comuni, specifiche e metodi condivisi.

L'internazionalizzazione delle norme, che nel settore elettrico ha avuto inizio quasi un secolo fa, ha contribuito anche all'apertura dei mercati, allo sviluppo dei Paesi in fase di industrializzazione, alla creazione di nuove industrie e alla realizzazione delle potenzialità delle nuove tecnologie. Nel settore elettrico ha contribuito alla creazione del *Mercato Unico Europeo* (in Europa, in generale, le Norme sono armonizzate in tutti i Paesi, in particolare per i prodotti).




Le norme sono tra le più importanti fondamenta di tutte le economie nazionali e del commercio internazionale. Esse provvedono a fornire misurazioni accurate e necessarie, a ridurre i costi di produzione, sviluppando prodotti ad alto rendimento, di qualità, uniformità, interoperabilità e funzionalità, e fornendo un metodo per sviluppare la salute, la sicurezza, l'ambiente, le comunicazioni, la competitività, il commercio internazionale e la qualità della vita. Se da un lato le norme hanno, soprattutto a livello internazionale ed europeo, un ruolo fondamentale per lo sviluppo del commercio e l'apertura dei mercati, non meno importante è l'aspetto legato alla sicurezza delle persone e alla qualità di prodotti e sistemi. Tali concetti sono intimamente legati a quello di "regola dell'arte", ovvero quell'insieme di caratteristiche che permettono di realizzare macchine, apparecchi ed impianti elettrici ed elettronici con elevati standard qualitativi, intesi a garantire precisi criteri di sicurezza, conseguenti alla costante evoluzione tecnologica. In Italia, la normativa elettrica è predisposta dal *CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano)*, anche su indicazione dello *Stato Italiano* e dell'*Unione Europea*. Le Norme CEI contribuiscono a definire ciò che le leggi in materia intendono come "regola dell'arte". In Europa esistono diversi enti con la funzione di certificare la conformità dei componenti e degli apparecchi

elettrici con la Normativa in vigore. In questa trattazione saranno menzionati solo alcuni Enti di Certificazione per quanto riguarda le connessioni elettriche.

4.1.1 Struttura Enti Normatori

L'attività di produzione della normativa è oggi svolta soprattutto in campo internazionale tramite la *IEC (International Electrotechnical Commission)*, in campo europeo tramite il *CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique)* e tramite l'*ETSI (European Telecommunications Standards Institute)* per il settore delle Telecomunicazioni. Ciò a seguito delle *Direttive Comunitarie* e di quanto richiesto dal *WTO (World Trade Organization)*, che rappresenta l'*Ente di Organizzazione Mondiale del Commercio* creata allo scopo di supervisionare numerosi accordi commerciali tra gli Stati membri.

Possiamo ora percorrere le fasi fondamentali dell'entrata in vigore di una norma, citando gli *Enti di Normazione* coinvolti. Per chiarire la struttura ed i vari livelli che caratterizzano il *Sistema Normativo Mondiale* è stata riportata la **Tabella 4.1**:

	Elettrotecnica, elettronica	Tutte le altre aree	Telecomunicazioni
 Livello mondiale	IEC (62 Paesi)	ISO (94 Paesi)	ITU(*) (189 Paesi)
 Livello europeo	CENELEC (28 Paesi)	CEN (28 Paesi)	ETSI (35 Paesi)
 Livello nazionale	CEI	UNI	CONCIT (CEI/UNI/ISCT)

(*) Ente intergovernativo le cui raccomandazioni sono utilizzate dai Governi ai fini regolamentari

Tabella 4.1 – Tabella Enti Normatori mondiali.

In Italia il processo di approvazione di una norma parte da una proposta, la quale è oggetto di studio ma anche di confronto da parte dei *Comitati Tecnici CEI*, alle volte tramite apposito gruppo di lavoro costituito per trattare quella tematica. Una volta discusso ed approvato, il “progetto di norma” viene sottoposto ad “inchiesta pubblica”, una fase molto importante per l’iter normativo, durante la quale il documento viene reso pubblico al fine di raccogliere il “consensus” ed eventuali commenti o suggerimenti. Tale fase dura, per le *Norme Nazionali CEI*, da un minimo di 1 mese a 3 mesi circa a seconda del tipo di documento. I periodi sono leggermente più lunghi nel caso di documenti europei, che successivamente vengono recepiti a livello nazionale (in questo caso la norma acquisisce la denominazione *CEI EN*). Diverso è il caso dei documenti internazionali (IEC), che diventano CEI se, e solo se, sottoposti ad inchiesta pubblica nazionale. Nel caso in cui i documenti siano contemporaneamente europei ed internazionali, si rientra nel caso dei documenti europei sottoposti ad inchiesta pubblica (commento e votazione dei *Comitati Nazionali* facenti parte del CENELEC).

Una volta passato il periodo di inchiesta pubblica, il documento può subire due destini diversi: se approvato, passa in produzione ed “entra in vigore” nel corpo normativo e nel patrimonio culturale tecnico nazionale; se non supera la fase di inchiesta, viceversa, viene riaperto il fascicolo e riesaminato il documento, tenendo conto delle osservazioni ricevute. Successivamente il documento può essere ripresentato oppure, in caso di forti e motivate controindicazioni (caso assai raro), viene ritirato.

Il periodo di inchiesta pubblica garantisce tre principi fondamentali: pubblicità, democraticità e trasparenza. In Italia il CEI si pone quindi in una posizione “super partes”, come garante della democraticità e della trasparenza del processo normativo.

Possiamo ora trattare separatamente i tre principali Enti di Normazione che si occupano di Elettrotecnica ed Elettronica, che sono IEC, CENELEC e CEI.

IEC (Commissione Elettrotecnica Internazionale): La IEC è un’organizzazione internazionale per la definizione di standard in materia di elettricità, elettronica e tecnologie correlate. Molti dei suoi standard sono definiti in collaborazione con l’ISO (*Organizzazione Internazionale per la Normazione*). La commissione è formata da rappresentanti dei corpi di standardizzazione nazionali riconosciuti. L’IEC è stata fondata nel 1906 ed inizialmente aveva sede a Londra; nel 1948 ha spostato la sua sede a Ginevra. Ad essa partecipano attualmente più di 60 Paesi. La IEC ha il compito di sviluppare e distribuire gli standard per le unità di misura, è stata infatti la prima organizzazione a proporre un sistema di standard, il *Sistema Giorgi*, che intorno al 1960 si è modificato nell’insieme delle unità *SI* (*Sistema Internazionale*). Nel 1938 ha inoltre pubblicato un *Vocabolario Elettrico Internazionale* finalizzato alla traduzione, allo scopo di unificare la terminologia elettrica. Questa attività prosegue e l’*International Electrotechnical Vocabulary* rimane un’importante opera per le industrie elettrotecniche ed elettroniche. Gli standard della IEC sono identificati da numeri interi progressivi e i loro titoli seguono una forma del tipo: IEC 60512-1-2... Alcuni standard possono essere sviluppati in collaborazione con l’ISO. La normativa IEC funge da base per l’elaborazione di norme e di regolamenti nazionali e costituisce uno strumento strategico per gli scambi commerciali; la IEC è infatti riconosciuta dal WTO (World Trade Organization). Le sue normative sono considerate uno strumento importante per il raggiungimento dell’auspicata globalizzazione dei mercati, al fine di commercializzare tutti i prodotti a livello internazionale, agevolando lo sviluppo economico dei Paesi aderenti.

CENELEC (Comitato Europeo di Normazione Elettrotecnica): Il CENELEC è un’organizzazione europea responsabile della normalizzazione nell’area dell’ingegneria elettrica; insieme a l’ETSI (Telecomunicazioni) e al *CEN* (altre zone tecniche) forma il sistema europeo per la normalizzazione. Il CENELEC è stato fondato nel 1973; prima due organizzazioni erano responsabili della normalizzazione elettrotecnica: il *CENELCOM* e il *CENEL*. Il CENELEC è un’organizzazione senza scopo di lucro secondo la legge belga ed ha sede a Bruxelles.

Sebbene il CENELEC lavori in stretta collaborazione con l’Unione Europea, esso non è un’istituzione dell’UE.

La missione di questo Comitato è quella di occuparsi di regolamentazione e norme che aiutano lo sviluppo del Mercato Unico Europeo per i prodotti elettrici elettronici ed i servizi, eliminando gli ostacoli al commercio, creando nuovi mercati ed il taglio dei costi. Per ottemperare agli obblighi appena citati il CENELEC è fortemente impegnato a:

- soddisfare le esigenze dell’industria europea e di altre parti, in materia di standardizzazione e di valutazione della conformità in materia di energia elettrica, di elettronica e delle tecnologie associate;

- guidare e regolamentare tutti gli aspetti relativi alla qualità dei prodotti, alla sicurezza, alla qualità del servizio e sicurezza dei servizi nei settori dell'energia elettrica, dell'elettronica e delle tecnologie associate, tra cui la tutela dell'ambiente, l'accessibilità e l'innovazione, e quindi a contribuire al benessere della società;
- dare supporto alla IEC nella realizzazione della sua missione, per essere globalmente riconosciuta come il fornitore di norme e di valutazione della conformità e dei relativi servizi necessari per agevolare il commercio internazionale in materia di energia elettrica, elettronica e tecnologie associate.

I membri del CENELEC sono gli *Istituti di Normalizzazione Elettrotecnica Nazionale* della maggior parte dei Paesi europei. A rappresentare l'Italia è il CEI, gli altri membri sono: Austria, Belgio, Cipro, Repubblica Ceca, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Ungheria, Islanda, Irlanda, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Paesi Bassi, Norvegia, Polonia, Portogallo, Romania, Spagna, Slovacchia, Slovenia, Svezia, Svizzera e Regno Unito, Albania, Bosnia, Bulgaria, Croazia, Macedonia, Serbia, Montenegro, Turchia e Ucraina sono attualmente "affiliate members", in attesa cioè di diventarne membri a pieno titolo.

Infine possiamo affermare che l'organizzazione CENELEC dedica la maggior parte del suo impegno nella creazione e stesura di norme europee e documenti armonizzati. Queste norme o standard, se approvati, vengono applicati in tutti i paesi membri del CENELEC e non possono in nessun modo entrare in conflitto con altre norme già in vigore.

CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano): Fondato nel 1903, il CEI è l'*Ente Istituzionale*, riconosciuto dallo Stato Italiano e dall'Unione Europea, preposto alla normazione e all'unificazione in Italia del settore elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni. Come già detto in precedenza, il CEI è il rappresentante italiano nei principali meccanismi di normazione e certificazione internazionale. La Legge italiana n. 186 del 1° Marzo 1968 ne riconosce l'autorità stabilendo che "i materiali, le macchine, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici, realizzati secondo le Norme del CEI si considerano a regola d'arte". Le *Norme Tecniche* pubblicate dal CEI stabiliscono i requisiti fondamentali che devono avere materiali, macchine, apparecchiature, installazioni e impianti elettrici ed elettronici per rispondere alla regola della buona tecnica, definendo le caratteristiche, le condizioni di sicurezza, di affidabilità, di qualità e i metodi di prova che garantiscono la rispondenza dei suddetti componenti alla regola dell'arte.

Finalità istituzionale del CEI è la promozione e la diffusione della cultura tecnica e della sicurezza elettrica. A tale scopo il CEI sviluppa una serie di attività normative a livello nazionale ed internazionale che includono, oltre alla redazione dei documenti normativi e al recepimento delle direttive comunitarie e dei documenti armonizzati, azioni di coordinamento, ricerca, sviluppo, comunicazione e formazione in sinergia con le parti coinvolte nel processo normativo.

Il CEI è organizzato in Comitati Tecnici e *Sottocomitati*, che sono organi a carattere nazionale con il compito di predisporre ed elaborare le norme nel settore di loro rispettiva competenza. Essi sono composti dai maggiori esperti nazionali dei vari settori dell'elettrotecnica ed elettronica: professori universitari, ricercatori, ingegneri, periti, progettisti, rappresentanti del mondo della produzione e delle categorie professionali del settore, etc. Queste persone lavorano alla preparazione della normativa, mettendo a disposizione della collettività le proprie competenze e la propria esperienza per concorrere alla definizione della regola d'arte, intesa come massima espressione del livello tecnico, scientifico e tecnologico raggiunto dalla società in un determinato momento, comprensivo dei contenuti e delle prescrizioni normative in conformità alle disposizioni legislative e sociali vigenti. A tale scopo, i membri dei Comitati Tecnici e dei Sottocomitati si riuniscono periodicamente per discutere, valutare, confrontarsi e aggiornare la normativa tecnica di propria competenza.

La missione del CEI si finalizza nel migliorare la qualità della vita e la sicurezza delle persone, delle cose e dell'ambiente nel rispetto delle esigenze, delle idee e dei diritti della collettività, mediante il consenso allargato di tutte le parti coinvolte nel processo normativo. Questa missione si concretizza con l'ottemperanza e il perseguimento delle seguenti finalità:

- elaborare, pubblicare e diffondere le Norme Tecniche nel settore elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni per materiali, apparecchi, macchine, impianti, processi e programmi, stabilendone i requisiti di qualità e sicurezza, affinché essi possano considerarsi rispondenti alla regola d'arte;
- provvedere alla simbologia, alla terminologia, all'unificazione e alla normativa nel settore elettrotecnico;
- studiare i problemi di carattere scientifico e tecnologico connessi alle esigenze di impiego, funzionamento, sicurezza o altro nel settore elettrico;
- stabilire criteri, metodi di prova e limiti finalizzati al raggiungimento di adeguati livelli di sicurezza, affidabilità e qualità dei prodotti o dei processi;
- elaborare regole e procedure per prove e controlli di rispondenza alle Norme Tecniche;
- fissare criteri di valutazione di laboratori, costruttori, singoli operatori, ai fini del loro accreditamento da parte dei competenti organismi;
- promuovere e sviluppare la cultura tecnica con attività formative e informative di vario genere, con iniziative documentali ed editoriali complementari, anche attraverso corsi, convegni, seminari e con il supporto di manuali, guide, software applicativi e commentari tecnici;
- promuovere e favorire l'attività di certificazione;
- promuovere a livello internazionale l'armonizzazione delle Norme Tecniche o deliberare sui progetti internazionali per assolvere i mandati ricevuti per ottemperare alle politiche comunitarie;
- partecipare alle attività degli enti europei ed internazionali di formazione.

4.1.2 Enti di Certificazione Industriale

Al fine di certificare la qualità dei prodotti industriali vengono rilasciati i *marchi di conformità*, i quali sono importanti per la tutela del consumatore finale. Il marchio di conformità è un contrassegno facoltativo (volontario) apposto su prodotti e servizi per indicare che il bene o servizio ha superato una serie di *Prove Tecniche* e raggiunto gli standard qualitativi prefissati dall'Ente di Certificazione. I marchi di conformità possono essere di due tipi:

- *obbligatori*: si limitano ad assicurare la conformità a regole tecniche di impiego obbligatorio, come la *marcatura CE* che garantisce, per alcune tipologie di prodotti, il rispetto dei requisiti essenziali di sicurezza stabiliti dalle relative direttive comunitarie;
- *volontari*: provano che tutti i prodotti hanno caratteristiche che superano quanto eventualmente richiesto dalla legge e testimoniano la qualità del prodotto.

Il marchio di conformità viene rilasciato attraverso il processo di "certificazione" da enti accreditati. Questi enti si occupano di effettuare le verifiche tecniche del rispetto delle norme prese in considerazione necessarie per l'ottenimento dell'autorizzazione del marchio di conformità. La certificazione è l'atto mediante il quale un ente dichiara che un prodotto o servizio è conforme ai requisiti specificati.

In questo paragrafo saranno brevemente descritti gli Enti di Certificazione Industriale che permettono di ottenere i marchi di conformità volontari, sempre in riferimento alla connessioni IDC sviluppate da INARCA; non saranno trattati gli Enti di Certificazione che si occupano di altri tipi di connessione. Nello specifico, gli Enti a cui fa riferimento INARCA in materia di connessioni IDC sono gli UL, il

VDE e la *Tyco Electronics*. Si deve specificare che Tyco non è un Ente “no profit” (organizzazione non a scopo di lucro) che si occupa di certificazioni ma una delle aziende leader, a livello mondiale, nella produzione di componenti elettromeccanici e non solo; essa è in grado di sviluppare degli standard industriali di grande importanza per tutte le aziende del settore, i quali saranno presi in considerazione in questo lavoro.

In ogni caso, anche INARCA, nel corso degli anni, si è dimostrata in grado di sviluppare standard industriali di assoluto rilievo, che avranno quindi un ruolo nell’analisi sperimentale delle Normative Internazionale.

UL (Underwriters Laboratories Inc.): UL è un’organizzazione americana indipendente, fondata nel 1894, che si occupa di certificazioni di prodotto effettuando prove ed elaborando norme di sicurezza. Ogni anno, UL valuta oltre 19.000 tipi di prodotti, componenti, materiali e sistemi aziendali rilasciando 20 miliardi di marchi UL presenti sui prodotti di 66.000 produttori. Il network di filiali e la rete di servizi di UL si estende in tutto il mondo con i suoi 68 laboratori per testare e certificare i prodotti dei clienti in 102 Paesi. UL valuta quindi i prodotti per la sicurezza pubblica a vantaggio dei clienti più diversi, dai produttori e consumatori fino agli Enti Normativi e alle *Autorità di Codifica*.

Quasi ogni settore di mercato riguardante “high tech”, apparecchi di elettronica di consumo, elettrodomestici, apparecchi industriali, medicali e commerciali si basa su componenti valutati da Underwriters Laboratories Inc. UL offre dei servizi speciali che permettono di determinare la qualità, l’affidabilità e l’accettabilità dei componenti.

I componenti certificati UL rappresentano uno dei criteri più utilizzati dai clienti nel prendere importanti decisioni sugli acquisti.

Il programma di certificazione dei componenti creato da UL comprende due marchi. Il marchio tradizionale di “UL” con la sigla nel cerchio (vedi Figura 1.3) è destinato a prodotti finiti e componenti completi, mentre il marchio “UR” (vedi Figura 1.3) alla rovescia riguarda componenti da installare in un altro apparecchio o prodotto. I componenti certificati UL sono adatti per l’installazione sia sul campo sia in fabbrica. I componenti riconosciuti UR possono essere installati solamente in fabbrica poiché sono soggetti a condizioni d’uso, note anche come condizioni di accettabilità, che devono essere soddisfatte nell’applicazione del prodotto finito.

I marchi succitati sarebbero validi solo per i componenti prodotti nel Nord America ma grazie alla sua posizione internazionale UL può aiutare anche fornitori che operano in altri mercati, oltre a quello statunitense e canadese.

Oltre al servizio di certificazione dei componenti, viene offerto anche il servizio per componenti non certificati UL, anche detto “servizio componenti personalizzati”. Tale servizio è disponibile solo per produttori e non per fornitori di componenti ed è applicabile nelle situazioni in cui si utilizza un componente personalizzato per un prodotto finito non attestato da UL.

Eliminando prove e controlli ripetitivi sui componenti presenti sul mercato e impiegati nei loro prodotti, i programmi di certificazione dei componenti di UL risultano estremamente vantaggiosi per i produttori di prodotti finiti. Inoltre, aumenta l’affidabilità della catena di fornitura poiché i componenti vengono verificati e controllati sul luogo in cui vengono prodotti e non quando già in uso su prodotti finiti.

Il programma apporta benefici anche per i fornitori di componenti perché fornisce loro un metodo indipendente e oggettivo di dimostrare ai produttori di prodotti finali che i propri componenti sono conformi ai requisiti per componenti. Il compratore può infine accedere alle informazioni grazie agli elenchi online delle certificazioni.

VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker): VDE è un'autorevole associazione tedesca che si occupa di normative riguardanti tecnologie elettriche, elettroniche ed informatiche. VDE lavora per favorire un clima migliore per l'innovazione, garantire i massimi standard di sicurezza, promuovere programmi di studio ottimale nel campo dell'ingegneria, e incoraggiare una più ampia accettazione pubblica delle nuove tecnologie. L'organizzazione dell'associazione e le funzioni esercitate sono uniche al mondo, il VDE infatti copre un ampio spettro di attività scientifiche operando sulle Prove Tecniche da sottoporre ai prodotti. I punti focali del lavoro VDE includono lo sviluppo di norme di sicurezza per prodotti elettrici ed elettronici, realizzato preparando regolamenti tecnici, come standard nazionali, internazionali e di prova, i quali consentono di ottenere la certificazione di prodotti, apparecchiature e sistemi elettrici.

Gli *Istituti di Collaudo* e di *Certificazione* del VDE, vantano oltre 500 dipendenti altamente qualificati, i quali conducono annualmente circa 100.000 test per i produttori nazionali e internazionali. Il marchio VDE, familiare al 68% del popolo tedesco, è considerato un simbolo di elevata qualità e sicurezza. Nel mondo, circa 200.000 prodotti possono vantare la certificazione VDE.

Il VDE opera in tutto il mondo gestendo una rete mondiale di contatti e collaborazioni internazionali; a livello tecnico e scientifico, collabora infatti con associazioni note in tutto il mondo. Il VDE ha esperti in servizio in tutte le organizzazioni di standardizzazione pertinenti, quali il CENELEC, l'ETSI e la IEC ; lavora anche in stretta collaborazione con l'*IEEE* (Institute of Electrical and Electronics Engineers), che è la più grande associazione di ingegneri a livello mondiale.

Il VDE è presente in tutta la Germania con 29 sedi regionali e distrettuali, supportate anche da 60 gruppi universitari. L'associazione è composta da rappresentanti di primo piano in materia di tecnologia e scienza che lavorano a stretto contatto con le imprese. La sede principale è a Francoforte, mentre le sedi di rappresentanza più significative sono a Bruxelles e a Berlino.

Tyco Electronics: Tyco è un fornitore globale, con un fatturato di 10,3 miliardi di dollari USA, nel campo dei componenti elettronici per migliaia di prodotti di consumo e industriali, soluzioni e sistemi di rete per i mercati energetici e delle telecomunicazioni, sistemi sottomarini per telecomunicazioni e prodotti specialistici. Tyco Electronics produce circa 450.000 prodotti tecnologici di precisione, che hanno tutti il supporto di circa 78.000 dipendenti dedicati, impegnati in modo particolare ad offrire un vantaggio di prestazioni in ogni tecnologia, prodotto e servizio.

Tyco è uno dei più grandi fornitori al mondo di componenti elettronici passivi, come connettori e sistemi di interconnessione, relè, interruttori, sensori, fili e cavi. Questi prodotti sono utilizzati soprattutto nei settori: automobilistico, computer, apparecchiature per comunicazioni, macchinari industriali, elettrodomestici, elettronica di consumo, energia, illuminazione, apparecchiature commerciali e strumentazione.

Ogni anno Tyco Electronics investe più del 5% delle vendite in ricerca, sviluppo e ingegneria. La leadership di Tyco è sostenuta da circa 7.000 ingegneri in 11 centri di progettazione presenti in tutto il mondo, che lavorano a stretto contatto con i clienti per sviluppare prodotti e sistemi specifici ad alto contenuto tecnologico per le applicazioni a cui sono destinati, in modo da soddisfare le loro esigenze. L'innovazione e la ricerca permettono a Tyco di sviluppare sempre nuovi progetti al fine di migliorare la funzionalità e le prestazioni dei propri prodotti; questa innovazione si traduce in scrupolose metodologie di prova che sono considerate dei veri e propri standard mondiali nel campo delle connessioni elettriche.

4.2 Prescrizioni normative generiche e di base

Le Normative Internazionali IEC dedicano ai connettori per apparecchiature elettroniche la serie di norme *IEC 512*. Tali norme rappresentano delle *prescrizioni di base*, in quanto sono valide per tutte le tipologie di componenti. In ogni caso, l'ultima norma di base, a livello internazionale, che tratta i connettori elettrici per apparecchiature elettroniche è la *IEC 61984* dal titolo *Connettori – Prescrizioni di sicurezza e prove*. Tale norma è in vigore dall'Ottobre del 2008 ed è stata recepita a livello europeo nel Giugno del 2009. In questa sezione saranno presenti molte nozioni e prescrizioni riferite sia alla Pubblicazione IEC 61984 che alla IEC 512.

Il CEI invece ha istituito un Comitato Tecnico dedicato a questo argomento, il *CT 48*. Ne consegue che l'adozione a livello nazionale di una norma riguardante i connettori elettrici deve essere valutata dal *CT 48* per poter entrare in vigore.

In questo paragrafo, verranno riportate le prescrizioni di base fondamentali che sono utili per le connessioni elettriche a spostamento di isolante. Tali norme sono ovviamente valide anche per tutti gli altri componenti contemplati dalle stesse Normative Internazionali.

4.2.1 Terminologia

La terminologia usata nelle norme di base, dedicate ai componenti elettromeccanici per apparecchiature elettroniche, è conforme a quella stabilita dal Vocabolario Elettrotecnico Internazionale. Risulta infatti fondamentale utilizzare dei termini standardizzati, che permettano ai lettori di comprendere al meglio i contenuti delle Normative Internazionali. Di seguito sono riportate le definizioni fondamentali (estrapolate dalle norme IEC 512 e IEC 61984), utili per analizzare le norme inerenti ai connettori elettrici.

Connettore: Componente posto all'estremità di conduttori allo scopo di fornire la connessione e la sconnessione da un componente a cui si accoppia (molte volte con il termine "connettore" si intende solo l'housing che ingloba il terminale).

Connettore mobile: Connettore destinato ad essere fissato all'estremità libera di un filo o di un cavo.

Connettore fisso: Connettore destinato ad essere fissato ad una superficie rigida.

Connettore smontabile: Connettore costruito in modo tale che il cavo o il filo possano essere sostituiti.

Connettore non smontabile: Connettore costruito in modo tale che il cavo non possa essere separato dal connettore senza renderlo permanentemente inutilizzabile.

Connettore con custodia: connettore per il quale la protezione contro la scossa elettrica è assicurata dalla custodia del connettore stesso.

Connettore privo di custodia: Connettore privo di protezione contro la scossa elettrica. Questo tipo di protezione può essere fornita dall'involucro dell'apparecchiatura nel quale il connettore privo di custodia è previsto che venga montato, conformemente al grado di sicurezza del prodotto.

Connettore con potere di interruzione (CPI): Connettore espressamente progettato per essere accoppiato o disaccoppiato durante l'uso normale, quando in tensione o sotto carico.

Connettore privo di potere di interruzione (CPPI): Connettore che non è previsto venga accoppiato o disaccoppiato durante l'uso normale, quando in tensione o sotto carico.

Interblocco: Dispositivo, elettrico o meccanico, che impedisce che i contatti di un connettore vadano in tensione prima che esso sia in adeguato accoppiamento con la propria controparte, e che impedisce o che il connettore sia disaccoppiato mentre i suoi contatti sono in tensione, oppure rende i contatti inattivi prima della separazione.

Unità di serraggio: Parti di un morsetto necessarie per il serraggio meccanico e la connessione elettrica dei conduttori, incluse le parti che sono necessarie ad assicurare la corretta pressione di contatto.

Temperatura limite superiore (TLS): La massima temperatura di un connettore che risulta dalla somma della temperatura ambiente e dalla sovratemperatura, dovuta alla circolazione di corrente, alla quale il connettore è previsto possa ancora funzionare.

E' evidente che ad una temperatura ambiente uguale alla TLS, la sovratemperatura disponibile dovuta al passaggio di corrente è uguale a zero, di conseguenza la capacità di condurre corrente del connettore è nulla. La TLS di un connettore rientra sempre nella categoria climatica definita dalla norma *IEC 60068-1*, insieme alla TLI e alla durata della prova di esposizione al caldo umido.

Temperatura limite inferiore (TLI): La temperatura minima di un connettore, definita dalla categoria climatica assegnata dal costruttore, alla quale il connettore è previsto possa funzionare.

Distanza di isolamento in aria: La più breve distanza in aria tra due parti conduttrici.

Distanza di isolamento superficiale: La più breve distanza lungo la superficie del materiale isolante tra due parti conduttrici.

Categoria di sovratensione: Valore numerico che definisce una condizione di sovratensione transitoria.

Inquinamento: Qualsiasi aggiunta di materiale estraneo solido, liquido o gassoso che può comportare una riduzione della rigidità dielettrica o della resistività della superficie dell'isolamento.

Grado di inquinamento: numero che caratterizza l'inquinamento previsto dal micro-ambiente.

Tensione nominale: Valore della tensione assegnato dal costruttore al connettore e al quale sono riferite le caratteristiche di funzionamento e prestazione. Un connettore può avere anche più di un valore di tensione nominale.

Tensione nominale di isolamento: Valore efficace della tensione di tenuta, assegnato dal costruttore al connettore, che rappresenta la capacità di tenuta specificata (di lungo termine) del suo isolamento. La tensione nominale di isolamento non è necessariamente uguale alla tensione nominale, che è principalmente riferita alle sue caratteristiche funzionali.

Tensione nominale di tenuta ad impulso: Valore della tensione di tenuta ad impulso assegnato dal costruttore al connettore, che rappresenta la capacità di tenuta specificata del suo isolamento nei confronti delle sovratensioni transitorie.

Tensione di tenuta in valore efficace (tensione di tenuta alla frequenza i alimentazione): massimo valore efficace di una tensione che, in condizioni specificate, non provoca cedimenti dell'isolamento.

Corrente nominale: Valore di corrente assegnato dal costruttore, che il connettore può portare con continuità (senza interruzione) e simultaneamente attraverso tutti i suoi contatti cablati con il conduttore specificato della sezione più grande, preferibilmente ad una temperatura ambiente di 40 °C, senza che venga superata la TLS. Se per la definizione della corrente nominale si utilizzano altri valori di temperatura ambiente, nella documentazione tecnica, il costruttore dovrebbe dichiarare la temperatura ambiente su cui si basa il valore nominale.

Isolamento funzionale: Isolamento tra le parti conduttrici necessario soltanto per il corretto funzionamento dell'apparecchiatura.

Isolamento principale: Isolamento delle parti a tensione pericolosa che assicura la protezione principale.

Isolamento interno: Parte dell'isolamento principale che assicura le distanze di isolamento in aria e superficiali prescritte all'interno di una custodia o di un involucro di materiale conduttore.

Isolamento supplementare: Isolamento indipendente, applicato in aggiunta all'isolamento principale, allo scopo di assicurare la protezione in caso di guasto.

Doppio isolamento: Isolamento costituito sia dall'isolamento principale che dall'isolamento supplementare.

Isolamento rinforzato: Isolamento tra le parti a tensione pericolosa che assicura un grado di protezione contro la scossa elettrica equivalente a quello del doppio isolamento. L'isolamento rinforzato può comprendere diversi strati che non possono essere sottoposti a prova separatamente come isolamento principale o supplementare.

Grado di protezione: Il grado di protezione fornito dall'involucro, previsto contro l'accesso alle parti pericolose, la penetrazione di corpi solidi e l'ingresso di acqua, tutto questo opportunamente verificato con metodi di prova normalizzati.

Codice IP: Sistema di codifica per indicare i gradi di protezione forniti da un involucro contro l'accesso a parti pericolose, la penetrazione di corpi solidi estranei, l'ingresso di acqua e che fornisce informazioni supplementari su tale protezione.

Serracavo: Accessorio o parte di un componente utilizzato per serrare il cavo o il filo, in modo da ridurre gli sforzi e di assorbire le sollecitazioni meccaniche che potrebbero, in caso contrario, venire trasmesse al terminale.

Pressacavo: Dispositivo progettato per permettere l'ingresso di un cavo rigido o flessibile all'interno

di un'apparecchiatura e che fornisce la tenuta ed il suo fermo. Può anche essere dotato di altre funzioni, come la messa a terra, il collegamento equipotenziale, l'isolamento, la protezione del cavo, la riduzione degli sforzi applicati o una combinazione di queste due funzioni.

Campione: Coppia di connettori per accoppiamento (singolo elemento da provare). Nel caso di elementi di contatto, si tratta della coppia di elementi di accoppiamento previsti.

Famiglia: Gruppo di componenti elettromeccanici che presentano in maniera predominante una particolare caratteristica fisica e adempiono ad una specifica funzione (Esempio – Famiglia: Connessioni elettriche prive di saldatura).

Sotto-Famiglia: Gruppo di componenti elettromeccanici derivati dalla suddivisione di una famiglia e aventi caratteristiche di applicazione simili (Esempio – Sotto-famiglia: Connessioni elettriche a spostamento di isolante).

Tipo e modello: Le definizioni di “tipo” e “modello”, riferite ad un particolare componente, sono indicate nella specifica di dettaglio.

Norma di base: Norma che si applica a tutti i componenti elettromeccanici o ad una gran parte di essi.

Norma generica: Norma che si applica ad una sotto-famiglia e che può contenere regole per la preparazione di norme particolari.

Norma particolare (o specifica di dettaglio): Norma derivata da una norma generica e che si riferisce ad un componente particolare o ad un gruppo di componenti. Essa descrive questo componente, o gruppo di componenti, ivi compresi i valori e le caratteristiche necessarie, indicando le prescrizioni di controllo e gli appropriati riferimenti alla norma generica.

Lotto di controllo (o di prova): Quantità specificata di componenti elettromeccanici identici sottoposti insieme alle prove, in accordo al programma di prove applicabile.

Prova: Serie completa di operazioni relative a un qualunque titolo e comprendente generalmente le seguenti operazioni:

- condizionamento (se richiesto);
- misure iniziali (se richieste);
- condizionamento;
- riassetamento (se richiesto);
- esame e misure finali.

Precondizionamento: Condizionamento di un campione avente lo scopo di rimuovere o di controbilanciare parzialmente gli effetti della sua storia precedente.

Condizionamento: Esposizione di un campione a condizioni ambientali determinate, ivi compreso il carico elettrico, allo scopo di determinare gli effetti su di esso di tali condizioni.

Riassetamento: operazione effettuata su di un campione dopo il condizionamento, allo scopo di stabilizzare le sue proprietà prima delle misure.

4.2.2 Norme di base IEC 512

Nell'analisi delle Normative Internazionali, relative alle connessioni IDC, le *specifiche di dettaglio* contengono molti riferimenti alle norme di base IEC 512. Tali norme sono fondamentali per analizzare i procedimenti di prova, in modo da poterli poi riproporre a livello pratico.

Le Normative Internazionali IEC 512 hanno lo scopo di stabilire dei metodi di prova e procedure di misura da utilizzare nelle specifiche dei componenti. Esse contengono infatti delle informazioni fondamentali sui metodi e sulle procedure da eseguire per le prove. Tali norme sono destinate ad essere usate nei casi in cui è stata redatta una *norma generica* o una *norma particolare* per un certo componente, in maniera da assicurare l'uniformità e la riproducibilità delle procedure di prova.

I componenti elettromeccanici a cui sono applicabili i metodi e le procedure di prova sono:

- connessioni senza saldature;
- connettori per frequenze inferiori a 3 MHz;
- supporti per tubi elettronici;
- supporti per altri dispositivi ad innesto;
- interruttori a levetta;
- interruttori a pulsante;
- commutatori rotanti;
- interruttori sensibili;
- interruttori a temporizzazione termica;
- interruttori termostatici.

Altri dispositivi elettromeccanici che invece non sono specificatamente coperti dalle norme IEC 512 sono:

- condensatori variabili;
- connettori per frequenze superiori a 3 MHz;
- induttori variabili;
- resistori variabili;
- solenoidi;
- interruttori a contatto magnetico;
- interruttori di prossimità;

Ovviamente essendo specifiche di base, nelle norme IEC 512 non vengono considerate le prescrizioni relative alle caratteristiche funzionali dei componenti. Le norme particolari per l'elemento in prova stabiliscono i limiti ammissibili per tali caratteristiche. L'elenco e l'ordine delle prove attualmente considerate viene riportato di seguito (in "grassetto" sono indicate le norme necessarie per il collaudo delle connessioni IDC). Si noti che allo scopo di prevedere una futura espansione della Pubblicazione IEC 512 e di mantenere l'omogeneità della presentazione, ciascuna sezione sarà opportunamente suddivisa. Le suddivisioni saranno identificate dall'aggiunta di una lettera minuscola.

Prova N.	Pubblicazione N.	Titolo	Rif. CEI
	512-1	Generalità	48-3
1a 1b	512-2	<i>Sezione 1 – Esame generale</i> Esame a vista Esame delle dimensioni e della massa	48-3

Prova N.	Pubblicazione IEC N.	Titolo	Rif. CEI
2a		<i>Sezione 2 – Prove di continuità elettrica e di resistenza di contatto</i>	
2b		Resistenza di contatto – Metodo millivolt metrico	
2c		Resistenza di contatto – Metodo della corrente di prova specificata	
2d		Variazione della resistenza di contatto	
2e		Continuità elettrica a livello dei microvolt (soppressa)	
2f		Disturbi di contatto	
2g		Continuità elettrica della custodia	
2h		Stabilità della resistenza di contatto	
		Resistenza (verso terra) tra l'organo di comando ed il supporto di montaggio (lungo la superficie)	
3a		<i>Sezione 3 – Prove di isolamento</i> Resistenza di isolamento	
4a		<i>Sezione 4 – Prove di tensione applicata</i> Tensione di tenuta	
4b		Scariche parziali	
4c		Tensione di tenuta per piedini preisolati da aggraffare	
5a	512-3	<i>Prove della corrente limite</i> Aumento di temperatura	48-3
5b		Tasso di riduzione della corrente in funzione della temperatura	
6a	512-4	<i>Prove di sollecitazioni dinamiche</i> Accelerazione costante	48-3
6b		Scosse	
6c		Urti	
6d		Vibrazioni	
7a	512-5	<i>Sezione 1 – Prove di robustezza (componenti liberi)</i> Caduta libera (prova ripetuta)	48-4
7b		Robustezza meccanica (resistenza) ai colpi	
8a		<i>Sezione 2 – Prove di robustezza sotto carico statico (componenti fissi)</i> Carico statico trasversale	
8b		Carico statico assiale	
8c		Robustezza della leva di comando	
9a		<i>Sezione 3 – Prove di durata</i> Funzionamento meccanico	
9b		Carico elettrico e temperatura	
9c		Funzionamento meccanico con carico elettrico	
9d		Durata del sistema di ritenzione del contatto e dell'ermeticità (manutenzione, invecchiamento)	
10a		<i>Sezione 4 – Prove di sovraccarico</i> Sovraccarico elettrico (interruttori)	
10b		Sovraccarico meccanico (interruttori) (soppressa)	
10c		Interruzione di un carico capacitivo	
10d		Sovraccarico elettrico resistivo (connettori)	

Prova N.	Pubblicazione IEC N.	Titolo	Rif. CEI
11a 11b 11c 11d 11e 11f 11g 11h 11i 11j 11k 11m 11n	512-6	<p><i>Sezione 1 – Prove climatiche</i></p> <p>Sequenza climatica Sequenza/combinazione di freddo, bassa pressione atmosferica e calore umido Caldo umido continuo</p> <p>Cambi rapidi di temperatura Muffa Corrosione alla nebbia salina</p> <p>Corrosione in atmosfera industriale Sabbia e polvere</p> <p>Caldo secco Freddo Bassa pressione atmosferica</p> <p>Caldo umido ciclico Tenuta al gas, connessioni avvolte senza saldatura</p> <p><i>Sezione 2 – Prove di saldabilità</i> Saldabilità, bagnatura, metodo del bagno di saldatura Saldabilità, bagnatura, metodo di saldatura con saldatore Saldabilità, de bagnatura Resistenza al calore di saldatura, metodo del bagno di saldatura Resistenza al calore di saldatura, metodo di saldatura con saldatore</p>	48-5
13a 13b 13c 13d 13e 14a 14b 14c 14d 14e	512-7	<p><i>Sezione 1 - Prove di funzionamento meccanico</i> Forze di accoppiamento e di disaccoppiamento Forze di inserzione e di estrazione Forze di manovra (interruttori) Coppia di manovra (interruttori) Metodo di polarizzazione</p> <p><i>Sezione 2 – Prove di ermeticità</i> Perdita di pressione Pioggia guidata (artificiale) Immersione, protezione contro gli spruzzi Immersione sotto pressione d'acqua Immersione a bassa pressione atmosferica</p>	48-5
15a 15b 15c 15d 15e 15f 15g	512-8	<p><i>Sezione 1 – Prove meccaniche dei connettori</i> Ritenzione del contatto nel corpo isolante Ritenzione assiale del corpo isolante nella custodia Ritenzione torsionale del corpo isolante nella custodia Forza d'inserzione, di rilascio e di estrazione dei contatti Mantenimento del contatto nell'isolante mediante nutazione del cavo Efficacia dei dispositivi di accoppiamento dei connettori Prova di allineamento di inserzione (connettori per circuiti stampati) (soppressa)</p>	48-9

Prova N.	Publicazione IEC N.	Titolo	Rif. CEI	
16a	512-9	<i>Sezione 2 – Prove meccaniche sui contatti e terminali</i>	48-9	
16b		Danneggiamento da sonda di prova		
16c		Guida calibrata		
16d		Robustezza dei contatti alla piegatura		
16e		Robustezza a trazione (connessioni aggraffate)		
16f		Forza di ritenzione di un calibro (contatti elastici)		
16g		Robustezza dei terminali		
16h		Misura della deformazione di un contatto dopo aggraffatura		
16i		Efficacia del manicotto isolante (connessioni aggraffate)		
16j		Forza di ritenzione della molla di contatto di messa a terra		
16k		Forza normale minima (soppressa)		
16l		Forza di strappo, connessioni avvolte senza saldatura		
16m		Svolgimento, connessioni avvolte senza saldatura		
16n		Robustezza alla piegatura, lame maschio fisse		
16p		Robustezza alla torsione, lame maschio fisse		
16q		Robustezza alla trazione e compressione, lame maschio fisse		
17a		<i>Sezione 1 – Prove di fissaggio dei cavi</i>		
17b		Robustezza dei serracavi		
17c		Robustezza dei serracavi alla rotazione del cavo		
17d		Robustezza dei serracavi alla trazione del cavo		
18a		<i>Sezione 2 – Prove di rischio di esplosione</i>		Rischio di esplosione (soppressa)
19a		<i>Sezione 3 - Prove di resistenza chimica</i>		Resistenza dei fluidi dei piedini preisolati da aggraffare
19b				Resistenza all'ozono (soppressa)
20a		<i>Sezione 4 – Prove ai rischi di incendio</i>		Infiammabilità
20b		Tenuta alla fiamma		
21a	<i>Sezione 5 – Prove di resistenza a radiofrequenza</i>	Resistenza parallelo a radiofrequenza		
22a	<i>Sezione 6 – Prove di capacità</i>	Capacità		
23a	<i>Sezione 7 – Prove di schermature e di filtraggio</i>	Schermatura		
23b		Filtraggio		
23c		Diafonia (soppressa)		
24a	<i>Sezione 8 – Prove di interferenza magnetica</i>	Prova di magnetismo residuo		
24b		Influenza magnetica di un componente su una bussola		

4.2.3 Norma di base IEC 61984

La norma di base IEC 61984 è, come già detto in precedenza, l'ultima Pubblicazione Internazionale che si occupa di connessioni elettriche; in particolare si occupa degli aspetti relativi alla sicurezza. Tale norma si applica ai connettori con tensioni nominali comprese tra 50 V e 1000 V in corrente alternata o in corrente continua, e per correnti nominali fino a 125 A per contatto, per i quali non esista alcuna specifica di dettaglio, oppure che la specifica di dettaglio stessa richiami tale norma per gli aspetti di sicurezza. In ogni caso, per i connettori con tensioni nominali fino a 50 V e correnti nominali superiori a 125 A, la norma IEC 61984 può essere utilizzata come guida. Essa non si applica ai connettori montati all'interno o sull'involucro di un'apparecchiatura, qualora la norma di sicurezza applicabile a tale apparecchiatura comprenda esaurienti prescrizioni di sicurezza per tali connettori. Si ricordi che per la corretta applicazione della norma IEC 61984 è importante la contestuale lettura della serie di norme IEC 512.

Le connessioni elettriche a spostamento di isolante hanno delle specifiche di dettaglio dedicate. La norma IEC 61984 risulta comunque utile come guida per alcune prove ed inoltre consente di avere delle informazioni aggiuntive per quanto riguarda la sicurezza nell'installazione dei connettori (isolamento). Risulta fondamentale infatti che, dopo il montaggio, le parti attive di un componente non risultino accessibili al dito, applicando una forza di 20 N. Tutte le parti che non sono necessarie ad assicurare la protezione contro la scossa elettrica devono essere rimovibili con l'aiuto di un opportuno utensile. E' ovvio che un connettore previsto per l'uso all'interno di un involucro che assicura la protezione contro la scossa elettrica, non è necessario che abbia una propria protezione contro la scossa elettrica.

L'*isolamento principale, funzionale e supplementare* deve essere sempre progettato in modo da resistere alla *tensione di tenuta ad impulso* o della *tensione di tenuta in valore efficace* indicate dal costruttore e derivate dalla *tensione nominale di isolamento* del connettore. Il *doppio isolamento* invece deve essere progettato in modo tale che il cedimento di una parte (isolamento principale o supplementare) non pregiudichi la funzione di protezione dell'altra parte. Per la valutazione delle distanze in aria per l'*isolamento rinforzato*, la tensione di tenuta ad impulso deve essere scelta dal valore più elevato successivo di categoria di sovratensione in rapporto all'isolamento principale. Le distanze di isolamento superficiali devono essere raddoppiate rispetto a quelle per l'isolamento principale.

Oltre alla definizione dei tipi di isolamento, la norma IEC 61984 contiene anche informazioni tecniche, prescrizioni costruttive e una serie di prove dedicate alle connessioni elettriche in generale. La lettura di tale norma risulta quindi molto utile a certificare il grado di affidabilità di un qualsiasi componente.

4.2.4 Indicazioni di prova generali

Prima di iniziare la sequenza delle prove necessarie a valutare l'affidabilità di un componente, devono essere ben presenti i concetti generali riportati nella Pubblicazione *IEC 512-1*. Questa norma di base è ovviamente di fondamentale importanza anche per l'esecuzione dei test sulle connessioni IDC.

La IEC 512-1 deve essere utilizzata, come tutte le norme di base, congiuntamente alla norma generica, settoriale e particolare che seleziona e prescrive le prove da effettuare, i gradi di severità richiesti per ciascuna di esse e i limiti ammissibili per le caratteristiche funzionali. La specifica di dettaglio deve specificare anche tutte le deroghe alla procedura, che possono risultare inevitabili quando si applica una prova al tipo di componente in esame, deve inoltre specificare tutte le procedure speciali che possono essere richieste. In caso di contrasto tra la norma di base e qualsiasi specifica di un singolo componente, devono essere applicate le prescrizioni indicate nella norma del componente.

Se non diversamente specificato, tutte le prove devono essere effettuate nelle condizioni ambientali normali di prova, come indicato nella Pubblicazione *IEC 60068-1* (tale documento non è considerato in questa trattazione). Prima di effettuare le misure infatti i campioni in prova devono essere sottoposti a precondizionamento, nelle condizioni atmosferiche normali di prova, per la durata indicata nella specifica di dettaglio. La temperatura ambiente e l'umidità relativa alle quali vengono effettuate le misure, devono essere trascritte nel rapporto di prova.

Le prove devono essere effettuate sempre con campioni così come sono stati ricevuti dal fornitore. In nessun caso le superfici di contatto devono essere pulite o preparate in altro modo prima della prova, se ciò non è esplicitamente prescritto.

In caso di controversia sui risultati di prova, le misure devono essere effettuate in una delle condizioni di arbitraggio della Pubblicazione *IEC 60068-1*.

Le sequenze delle prove sono quelle descritte nelle specifiche settoriali o di dettaglio. Allo scopo di evitare ripetizioni e misure costose, la specifica settoriale o di dettaglio deve, inoltre, selezionare e prescrivere le misure da eseguire, secondo l'elenco delle misure contenuto nei vari documenti sui metodi di prova. La ripetizione di misure dimensionali identiche deve essere evitata salvo quando ciò sia richiesto per provare che tutti gli aspetti della produzione, della lavorazione e dei processi di fabbricazione sono soddisfacenti (per esempio per parti prodotte con un utensile a stampi multipli).

In certi casi possono essere previste prove combinate; ulteriori combinazioni di prove dovrebbero essere evitate se non sono essenziali per una applicazione specifica.

Si ricordi comunque che i metodi di prova indicati nelle norme sono i metodi preferenziali ma non necessariamente gli unici che possono essere utilizzati. Tuttavia, in caso di controversia, il metodo specificato dalle norme deve essere utilizzato come arbitraggio. Se per delle procedure di omologazione, vengono utilizzati dei metodi alternativi, è responsabilità del costruttore dimostrare all'organismo di omologazione che ogni metodo alternativo utilizzato fornisce risultati equivalenti a quelli ottenuti con i metodi specificati.

Al termine di un qualsiasi programma di prove è necessaria la *classificazione dei difetti*. Per difetto si intende una qualsiasi non conformità di un componente alle prescrizioni specificate. I difetti di un qualsiasi componente elettromeccanico sono raggruppati in due classi.

Non conformità (difetto) maggiore: Un difetto maggiore è una qualsiasi non conformità di un componente alle prescrizioni specificate tale da provocare un guasto prematuro del componente e ridurre materialmente la capacità di adempiere alla sua funzione prestabilita.

Non conformità (difetto) minore: Una non conformità, o difetto, minore è un'imperfezione che non riduce materialmente la capacità di un componente di adempiere alla sua funzione prestabilita, oppure un modesto scostamento dalle specifiche avente poca o nessuna influenza sull'attitudine del componente ad adempiere alla sua funzione prestabilita, per esempio rigature, finitura superficiale, piccole corrosioni, decolorazioni ecc. Una non conformità minore non è motivo di rifiuto, ma deve essere registrata nel rapporto di prova.

4.3 Prescrizioni normative specifiche per le connessioni IDC

La *Pubblicazione Internazionale*, attualmente utilizzata, che si occupa in maniera specifica delle connessioni elettriche a spostamento di isolante è la IEC 352. Tale norma è suddivisa in due parti fondamentali, le quali definiscono una prima separazione concettuale delle connessioni IDC.

Parte 1: Connessioni senza saldatura accessibili a spostamento di isolante – Regole generali, metodi di prova e guida pratica.

Parte 2 : Connessioni senza saldatura non accessibili a spostamento di isolante – Regole generali, metodi di prova e guida pratica.

In queste due Normative Internazionali sono contenute prescrizioni e prove, al fine di garantire la qualità delle connessioni IDC. Nello specifico, vengono indicati due programmi di prove:

- un *programma di prove base*, che si applica alle connessioni a spostamento di isolante conformi a tutte le prescrizioni riportate nelle caratteristiche di progetto (indicate nel paragrafo 4.3.2); queste prescrizioni sono dedotte dall'esperienza acquisita e dalle applicazioni riuscite di tali connessioni;
- Un *programma di prove completo*, che si applica alle connessioni a spostamento di isolante non pienamente conformi a tutte le prescrizioni succitate, per esempio quelle che sono realizzate con materiali o rifiniture della superficie non inclusi nelle caratteristiche di progetto (indicate nel paragrafo 4.3.2).

Questo sistema permette un controllo ottimizzato dei costi e dei tempi, utilizzando un programma ridotto di prove di base per le connessioni in esame e un programma di prove completo per le connessioni che richiedono una verifica più estesa delle prestazioni.

Le Norme Internazionali IEC 352 si applicano alle connessioni IDC, sia accessibili che non accessibili, composte da:

- terminali a spostamento di isolante progettati in maniera appropriata;
- fili con conduttore circolare monofilare con diametro nominale da 0,25 mm a 3,6 mm;
- fili con conduttore a treccia con sezione trasversale da 0,05 mm² a 10 mm².

Vengono fornite inoltre informazioni su materiali e dati risultanti in campo industriale in aggiunta alle procedure di prova, per fornire connessioni elettriche stabili in condizioni ambientali prescritte.

Lo scopo di queste Normative Internazionali è quello di determinare l'idoneità delle connessioni a spostamento di isolante, accessibili e non accessibili, in specificate condizioni meccaniche, elettriche ed atmosferiche. Tali norme si occupano anche di fornire un metodo per confrontare i risultati delle prove, quando gli utensili utilizzati per realizzare la connessione sono di diversa progettazione o fabbricazione.

4.3.1 Definizioni fondamentali

Per poter applicare le Normative Internazionali sulle connessioni elettriche a spostamento di isolante è necessario conoscere i termini e le definizioni riportate di seguito (estrapolate dalle norme IEC 352).

Connessione a spostamento di isolante (IDC): Connessione elettrica senza saldatura ottenuta inserendo un singolo filo in una fessura perfettamente definita di un terminale, in modo tale che i bordi della fessura spostino l'isolante e deformino il conduttore di un filo monofilare o fili elementari di un filo a treccia per produrre una connessione a tenuta di gas (**Figura 4.1**).

Connessione accessibile a spostamento di isolante: Connessione IDC in cui è possibile accedere ai punti di misura per realizzare le prove meccaniche (per esempio, la prova di resistenza a forze trasversali di estrazione) e le misure elettriche (per esempio, la resistenza di contatto) senza che sia necessario sopprimere una qualunque delle caratteristiche di progettazione intese per realizzare e mantenere la connessione IDC.

Connessione non accessibile a spostamento di isolante: Connessione IDC in cui non è possibile accedere ai punti di misura per realizzare le prove meccaniche e parte delle misure elettriche senza disattivare una qualsiasi caratteristica progettuale intesa a stabilire e mantenere la connessione IDC. Ciò è vero principalmente dove la connessione IDC è racchiusa in un componente.

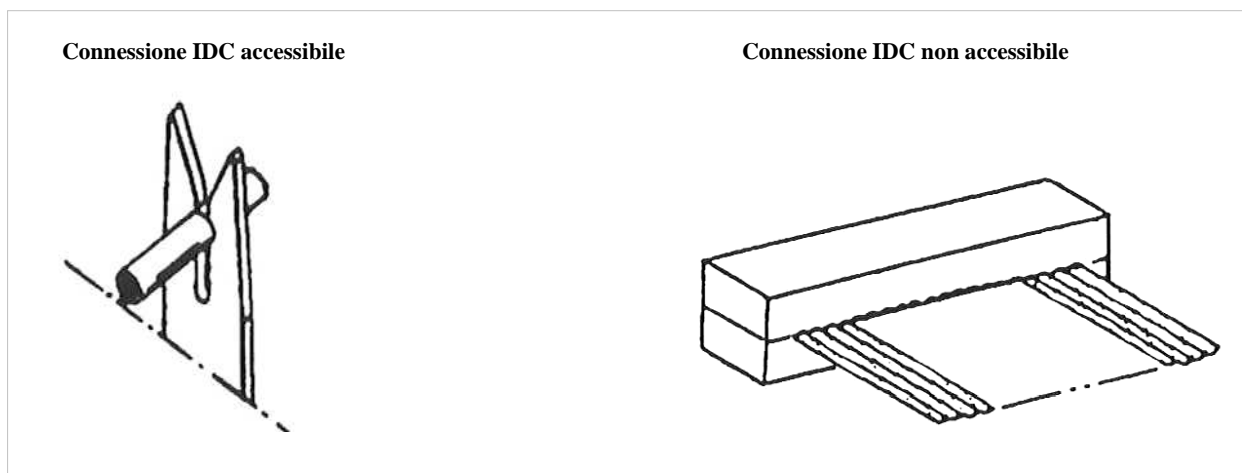


Figura 4.1 – Esempi di connessione a spostamento di isolante accessibile e non accessibile.

Terminale a spostamento di isolante: Terminale progettato per ricevere un filo, allo scopo di realizzare una connessione IDC (**Figura 4.2**).

Terminale riutilizzabile a spostamento di isolante: Terminale IDC che può essere utilizzato più di una volta.

Terminale a spostamento di isolante non riutilizzabile: Terminale IDC che può essere usato una sola volta.

Fessura di connessione: Apertura di forma adeguata in un terminale IDC, capace di spostare l'isolante di un filo e garantire una connessione a tenuta di gas tra il terminale e il conduttore del filo. In certi casi è possibile usare una seconda fessura di connessione per fornire una doppia connessione.

Fessura di supporto dell'isolante: Apertura di forma adeguata in un terminale IDC capace di afferrare il filo.

Linguetta: Parte metallica appositamente sagomata del terminale IDC che si trova su entrambi i fori della fessura.

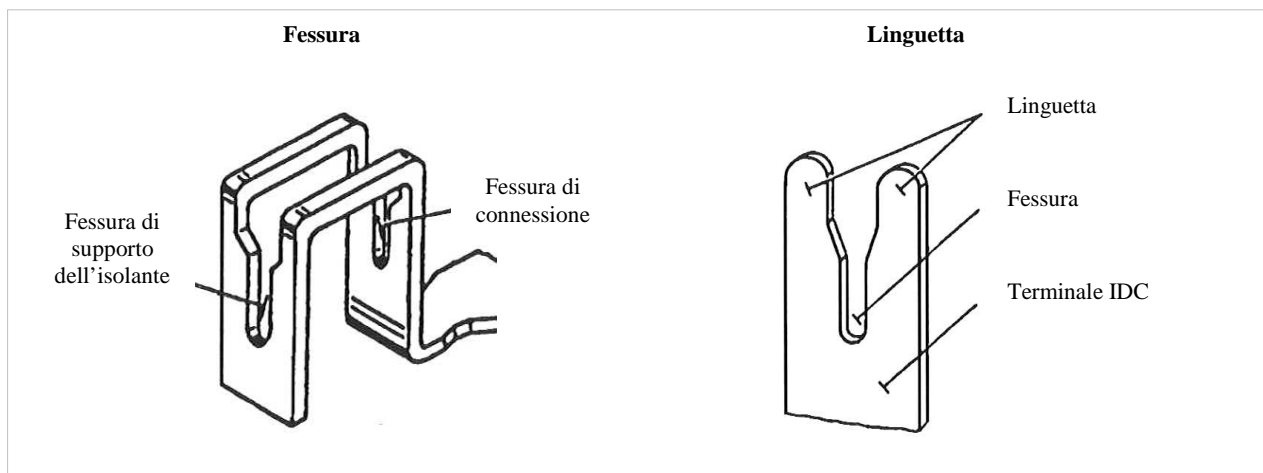


Figura 4.2 – Illustrazione di una fessura di connessione e di una linguetta di un terminale IDC.

Diametro apparente (di un conduttore a treccia): Diametro del cerchio circoscritto al fascio di cavi.

Blocco di guida: Parte di forma speciale di un componente, per esempio un connettore, che guida e inserisce il filo nella fessura. In più esso può fornire altre caratteristiche meccaniche, per esempio, fissare il filo nella posizione corretta, sostenere l'isolante della connessione, costituire un carico secondario sul terminale IDC o sulle linguette (**Figura 4.3**).

Utensile per l'inserimento del filo: Utensile manuale o assistito per realizzare una connessione IDC attraverso l'inserimento controllato del filo in una posizione predefinita della fessura.

Utensile per l'estrazione del filo: Dispositivo per estrarre il filo dal terminale IDC.

Portata di corrente: La portata di corrente di una connessione IDC, accessibile e non accessibile, è determinata dal valore più piccolo tra la portata di corrente del filo connesso e quella del terminale IDC.

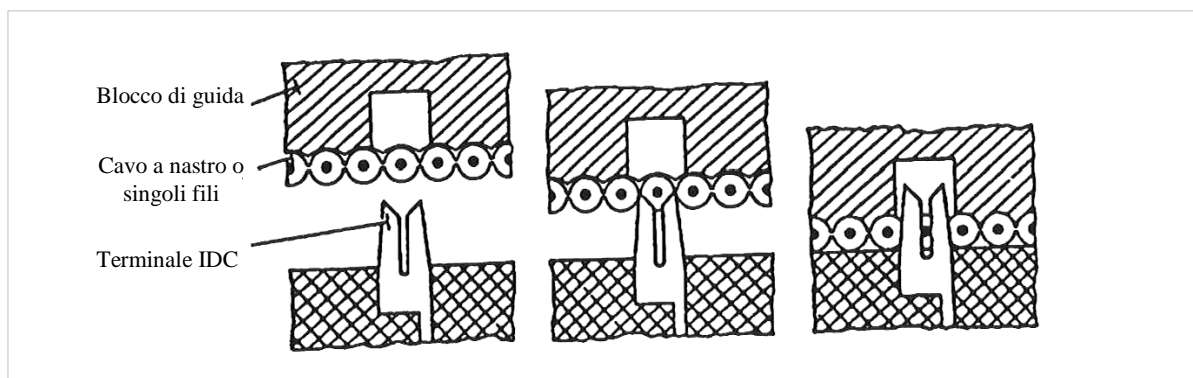


Figura 4.3 - Illustrazione blocco di guida.

4.3.2 Caratteristiche di progetto delle connessioni IDC

Le caratteristiche di progetto, dettate dalla IEC 352, sono fondamentali per valutare se una famiglia di connettori deve essere sottoposta ad un programma di prove base o completo. Se il connettore da testare rispecchia le caratteristiche elencate in questo paragrafo allora deve essere sottoposto ad un programma di prove di base, altrimenti, se il connettore non è conforme alle prescrizioni in questione deve essere sottoposto ad un programma di prove completo. Le caratteristiche di progetto rappresentano anche una guida pratica utile al produttore nella realizzazione dei connettori. Tali caratteristiche sono relative agli utensili, ai terminali, ai fili e alle connessioni IDC nel suo complesso. Ovviamente si parte dal presupposto che le connessioni devono essere realizzate sempre in modo appropriato e a regola d'arte, secondo la buona pratica corrente.

Utensili: In generale, è necessario un utensile di inserzione del filo per realizzare una connessione IDC sia accessibile che non accessibile. L'utensile dovrebbe essere in grado di sostenere il filo su entrambi i lati della fessura di connessione, cioè su entrambi i lati del terminale IDC, durante la procedura di inserzione del filo. Esso deve anche assicurare una corretta posizione del filo nella fessura di connessione, per esempio la profondità adeguata; ciò può essere assicurato mediante l'ausilio di un fermo di profondità.

Esistono diversi tipi di utensili di inserzione del filo, per esempio:

- utensili per l'inserzione simultanea dei fili, necessari per le connessioni tra cavi a nastro e componenti. Utensili particolari sono utilizzati per fili discreti, in grado di "pettinare" i fili sul posto prima dell'inserzione simultanea;
- utensili per l'inserzione individuale dei fili per la connessione tra fili discreti e componenti. In generale, ci sarà un dispositivo che andrà a posizionare automaticamente il componente di fronte all'utensile di inserzione.

Entrambi i tipi di utensili possono essere manuali o assistiti nel caso di produzione di massa.

In combinazione con l'utensile può essere utilizzato un *blocco di guida* per inserire il filo o il cavo nella fessura di connessione. L'utensile di inserzione dovrà applicare una forza sufficiente al blocco di guida. La progettazione del blocco inoltre dovrà facilitare l'allineamento del filo o del cavo con la fessura di connessione al fine di realizzare delle connessioni IDC affidabili.

Nel caso in cui sia necessario estrarre o rimuovere un filo inserito in una connessione IDC, si raccomanda l'uso di un utensile con estremità a forchetta per una facile e sicura rimozione del filo, senza pericolo di danneggiamento del terminale IDC (per esempio della fessura di connessione o della linguetta).

Esistono speciali utensili a mano combinati, per esempio per il cablaggio dei blocchi di ripartizione delle linee e applicazioni similari, che consentono all'operatore di realizzare tutte le fasi di cablaggio con un solo utensile, vale a dire l'inserimento del filo, il taglio alla corretta lunghezza e l'estrazione.

Fondamentale è il fatto che gli utensili devono essere sempre usati e controllati secondo le istruzioni fornite dal loro costruttore. Un utensile deve essere in grado di realizzare connessioni uniformemente affidabili nel corso della sua vita utile, deve inoltre essere progettato ed operare in modo da evitare qualsiasi danno al terminale IDC e al filo, assicurando sempre una posizione corretta nella fessura del filo stesso. Gli utensili vengono valutati provando le connessioni IDC realizzate con gli stessi utensili da valutare.

Terminali IDC: Per la realizzazione dei terminali IDC devono essere usati tipi adatti di leghe di rame, come rame-stagno (bronzo), rame-zinco (ottone) o rame al berillio. Se viene utilizzata la lega rame-zinco, devono essere prese precauzioni riguardo agli effetti di corrosione causati da sforzo.

La scelta del materiale dipenderà dalla dimensione e dalla funzione del terminale, ma deve anche tenere in conto le esigenze di una buona e stabile connessione elettrica. In ogni caso possono essere utilizzati anche materiali diversi da quelli indicati, purché sia ottenuta la forza necessaria per mantenere un buon contatto elettrico; laddove necessario la forza deve essere applicata da un carico esterno. Tutti i materiali infatti sono soggetti a rilassamento sotto sforzo che dipende dal tempo, dalla temperatura e dallo sforzo stesso. I materiali del terminale e la sua progettazione dovranno quindi essere tali che la forza mantenente il contatto non diminuisca nel tempo ad un punto tale che la connessione subisca un inaccettabile aumento della resistenza.

L'area di contatto del terminale deve essere placcata con stagno, stagno-piombo, argento, oro, palladio o loro leghe. La superficie deve essere priva di contaminazione o corrosione. Si possono realizzare anche terminali non placcati o altri materiali di placcatura a condizione che la loro idoneità sia stata provata. In questi casi si deve applicare ovviamente il programma di prove completo.

Tenendo conto delle caratteristiche dei materiali, il progetto dei terminali IDC deve essere tale che:

- la linguetta sia capace di esercitare la forza necessaria. Ciò dovrebbe essere assicurato o con la scelta di un materiale elastico o con l'applicazione di un carico esterno prodotto, per esempio da adatte caratteristiche di progettazione del componente destinato alla realizzazione della connessione IDC;
- i bordi della fessura della linguetta siano capaci di spostare facilmente l'isolante del filo e di mantenere una forza tra linguetta e conduttore sufficiente a mantenere un buon contatto elettrico;
- la fessura di connessione abbia un'imboccatura per il filo;
- i terminali progettati, per accettare i cavi rivestiti, abbiano estremità appuntite capaci di perforare facilmente l'isolante tra i conduttori.

A livello progettuale i terminali IDC si possono differenziare secondo le condizioni di riutilizzazione e secondo la gamma dei fili che possono accettare. Ne derivano quindi i seguenti tipi:

- terminali riutilizzabili, progettati per essere connessi più di una volta e progettati per un conduttore di diametro o di sezione nominale specificati;
- terminali riutilizzabili, progettati per essere connessi più di una volta e progettati per una gamma di conduttori di diametro o di sezione nominale specificati;
- terminali non riutilizzabili, progettati per essere connessi una volta e progettati per un conduttore di diametro o di sezione nominale specificati;
- terminali non riutilizzabili, progettati per essere connessi una volta e progettati per una gamma di conduttori di diametro o di sezione nominale specificati.

Infine, i bordi delle linguette devono essere lisci e privi di sbavature, per evitare danneggiamenti involontari al conduttore o all'isolante.

Fili: Nelle connessioni IDC devono essere utilizzati fili con conduttore circolare monofilare o conduttori a treccia con sette fili elementari (per ulteriori informazioni sui fili si possono consultare le Pubblicazioni Internazionali *IEC 189-3* e *IEC 673*). Si possono anche utilizzare conduttori a treccia con un numero di fili elementari diverso da sette, in questo caso deve essere applicato il programma di prove completo.

Il materiale del conduttore deve essere di rame ricotto con un allungamento alla rottura di almeno il 10%. I conduttori circolari monofilari devono essere non placcati o placcati con stagno, stagno-piombo o argento. I conduttori a treccia devono avere i fili elementari placcati allo stesso modo dei conduttori monofilari. I conduttori a treccia non placcati o con altre rifiniture possono essere comunque usati a condizione che la loro idoneità sia stata testata (in questo caso si applica il programma di prove completo).

Devono essere utilizzate differenti gamme di fili:

- filo circolare monofilare di diametro compreso tra 0,25 mm e 0,8 mm (convertito in sezione, tra $0,049 \text{ mm}^2$ e $0,5 \text{ mm}^2$);
- fili a treccia con sezione trasversale compresa tra $0,075 \text{ mm}^2$ e $0,5 \text{ mm}^2$.

Si possono usare conduttori con diametro o sezione trasversale al di fuori dei limiti succitati a condizione che rientrino nel campo di applicazione della Norma IEC 352 (tale campo è stato definito all'inizio di questa sezione); in ogni caso, si deve prevedere per questi connettori un programma di prove completo.

Per quanto riguarda le connessioni non accessibili a spostamento di isolante si possono utilizzare anche cavi a nastro con isolante in PVC (i cavi a nastro sono trattati nella Pubblicazione Internazionale *IEC 918*). Quando un cavo a nastro deve essere connesso, può essere utilizzato un blocco di guida al fine di inserire ciascuno dei fili nelle fessure di connessione appropriate e autobloccarsi sull'isolante della connessione. Le influenze negative sulla qualità e l'affidabilità della connessione IDC dovute al cavo a nastro e alla procedura di connessione devono essere evitate. Tali influenze possono essere date da:

- tolleranze sui passi troppo larghe;
- tolleranze sullo spessore dell'isolante dei fili troppo larghe;
- eccentricità del conduttore circolare monofilare o del fascio di fili elementari.

Il materiale isolante deve essere PVC o un altro materiale con proprietà compatibili con il procedimento di spostamento dell'isolante, cioè il materiale isolante deve poter essere facilmente spostato dai bordi interni delle linguette senza danneggiare il conduttore. Nel caso di conduttori a treccia, l'isolante deve, in aggiunta, poter mantenere i fili in posizione tale che essi non vengano esageratamente spostati durante la realizzazione della connessione IDC.

Per i cavi a nastro, l'isolamento tra i conduttori, compreso tutto l'isolamento aggiuntivo che forma il nastro, deve in più poter essere forato facilmente dalle estremità delle linguette.

Connessioni IDC: Vengono definite ora le caratteristiche di progetto riguardanti le connessioni IDC, accessibili e non accessibili, nel suo complesso, che sono:

- la combinazione di filo, terminale e utensile di connessione deve essere compatibile;
- quando il filo viene inserito nella fessura di connessione del terminale IDC, le facce interne delle linguette devono spostare l'isolante del filo e modificare: il diametro di un conduttore monofilare, oppure il diametro apparente di un conduttore a treccia e, in aggiunta, il diametro di quei fili che sono in contatto con la linguetta, in modo da produrre una connessione a tenuta di gas;
- il filo deve essere correttamente posizionato nella fessura di connessione del terminale IDC. Ci deve essere una sufficiente distanza tra il terminale e la fine del filo, il minimo valore di questa distanza dipende dal filo utilizzato;
- si deve utilizzare un solo filo per fessura di connessione.

In generale, sia per le connessioni IDC accessibili che non accessibili, devono essere previste delle protezioni contro gli sforzi esterni sul conduttore o contro i suoi movimenti. Ciò può essere realizzato con tutti i mezzi appropriati, per esempio un blocco di guida o altri dispositivi di supporto dell'isolante. L'isolante del filo deve avvolgere il conduttore su entrambe le parti del terminale e il conduttore non deve essere visibile tra l'isolante e il terminale.

Il filo deve essere sempre nella posizione corretta nella fessura di connessione, cioè:

- il conduttore deve essere posizionato nella fessura di connessione in modo tale che l'effetto di elasticità della linguetta non sia degradato;
- il filo deve avere lungo il suo asse longitudinale una distanza sufficiente tra il terminale IDC e l'estremità del filo. Questo tratto terminale è molto importante quando si utilizzano fili a treccia.

Non ci deve essere inoltre nessuna parte di isolante tra la parte deformata del conduttore o dei fili, rispettivamente, e le facce interne della linguetta.

Esistono differenti tipi di terminali IDC per connessioni a spostamento di isolante accessibili e non accessibili, per esempio terminali progettati per accettare una singola connessione IDC e terminali adatti ad accettare due o più connessioni IDC.

Al fine di minimizzare gli effetti della corrosione elettrolitica, si deve fare attenzione a scegliere i materiali dei conduttori e dei terminali per assicurarsi che siano il più possibile nelle tabelle dei potenziali elettrochimici dei metalli.

Quando un terminale deve essere utilizzato più di una volta, si deve usare il tipo riutilizzabile del terminale. E' necessario utilizzare una nuova parte del filo o un nuovo filo per ogni connessione.

In **Figura 4.4** è illustrato un esempio di terminale IDC semplice con conduttore circolare monofilare:

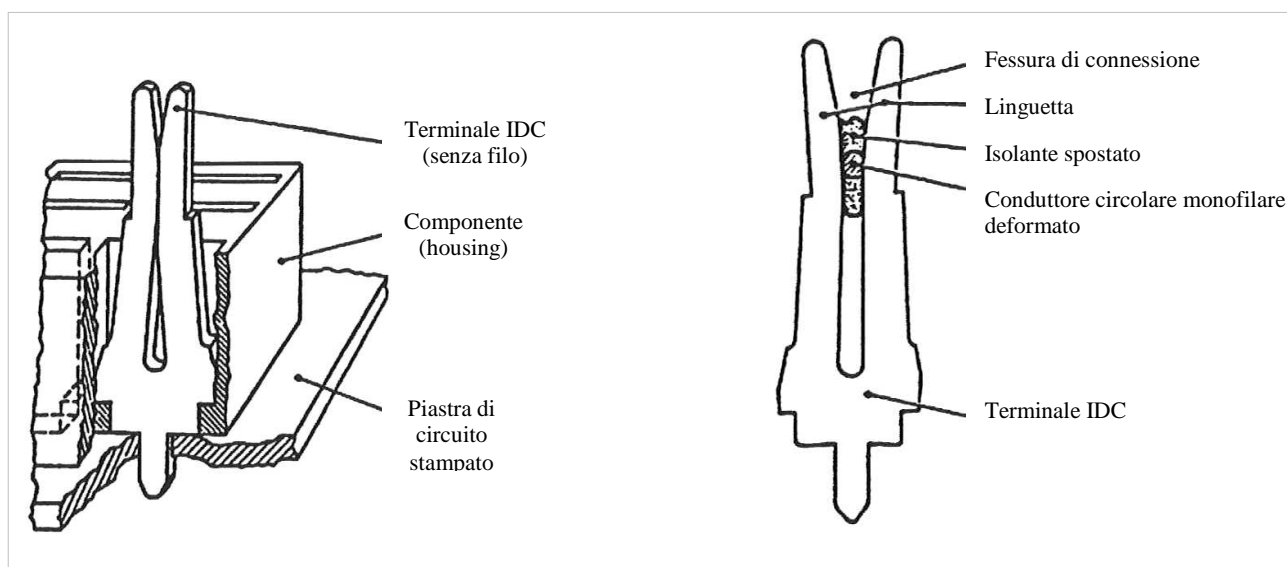


Figura 4.4 – Illustrazione di un terminale IDC con filo inserito.

Normalmente le connessioni IDC sono realizzate con un solo filo nella fessura di connessione, ma in certi casi, sono utilizzati anche due fili per fessura con risultati soddisfacenti. Attualmente però l'esperienza industriale non è disponibile per più di due fili per fessura.

Quando sono utilizzati più di un filo per fessura di connessione, le prove meccaniche ed elettriche devono essere effettuate su ogni singolo filo e in accordo con le prescrizioni per quel tipo di filo.

Laddove le connessioni IDC siano realizzate con più di un filo per fessura di connessione, le istruzioni del fabbricante devono definire sempre i seguenti dettagli:

- la compatibilità del terminale IDC, della fessura di connessione, dei fili da inserire e dell'utensile di inserzione;
- il tipo dei fili;
- il diametro o la sezione dei fili;
- la procedura di inserzione;

Il terminale IDC può essere sia riutilizzabile oppure non riutilizzabile.

In **Figura 4.5** è illustrato un esempio di connessione IDC non accessibile realizzata con due fili di diversa sezione in una fessura di connessione (conduttori a treccia).

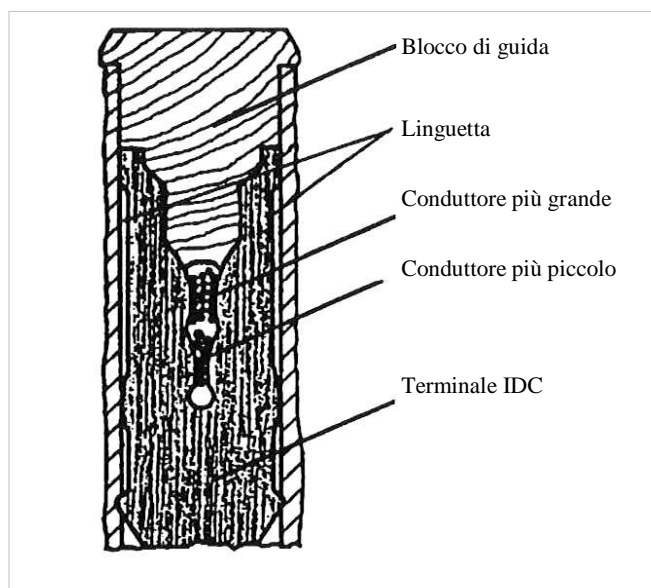


Figura 4.5 – Connessione IDC non accessibile con due conduttori di diversa sezione in una fessura di connessione.

4.3.3 Prescrizioni di prova introduttive sulle connessioni IDC

Dopo aver definito nel dettaglio le caratteristiche di progetto da verificare o da rispettare nella realizzazione delle connessioni elettriche a spostamento di isolante, si deve valutare il programma di prove adatto per il collaudo dei componenti. Come spiegato all'inizio di questa sezione, vi sono due programmi di prove che devono essere applicati secondo le condizioni seguenti:

- le connessioni IDC conformi a tutte le prescrizioni dettate nelle caratteristiche di progetto, devono essere provate secondo le prescrizioni del programma di prove di base e devono essere conformi ad esse;
- le connessioni IDC non pienamente conformi a tutte le prescrizioni dettate nelle caratteristiche di progetto, per esempio quelle che sono realizzate con un filo e/o una dimensione del terminale e/o materiali diversi, devono essere provate secondo le prescrizioni del programma di prove completo.

I programmi di prove base e completo saranno descritti dettagliatamente nel prossimo capitolo, che si occupa dell'implementazione sperimentale delle Normative Internazionali dedicate alle connessioni a spostamento di isolante.

Tutte le prove devono essere effettuate nelle condizioni normali di prova definite dalla norma di base IEC 512-1, le cui prescrizioni sono state riportate nella sezione precedente (paragrafo 4.2.4). Fondamentale è il fatto che la temperatura ambiente e l'umidità relativa, alle quali sono effettuate le misure, devono essere sempre riportate nel rapporto di prova, in quanto possono influenzare i risultati delle misure stesse. In caso di disaccordo riguardo ai risultati delle prove, la prova può essere ripetuta secondo le condizioni di riferimento della Pubblicazione Internazionale IEC 60068-1 (tale documento non è considerato in questa trattazione).

Prima dell'inizio delle prove, le connessioni devono essere preconditionate (lasciate) nelle condizioni normali di prova per un periodo di 24 ore, ai fini di rimuovere e controbilanciare parzialmente gli effetti della storia precedente che caratterizza i singoli campioni. Dopo il condizionamento del campione, ovvero dopo l'esecuzione della prova, deve seguire un periodo di riassetto alle condizioni normali di prova per un periodo di tempo da 1 a 2 ore.

Infine è necessario far presente che quando in una prova è prescritto il montaggio, gli esemplari devono essere montati utilizzando il normale metodo di montaggio, cioè quello che sarà adottato al momento dell'esercizio; ovviamente se non diversamente specificato dalla descrizione della prova.

Nel caso in cui si debba testare una connessione IDC non accessibile, il campione di prova può essere costituito da un componente avente una oppure un numero specificato di connessioni IDC non accessibili con un filo inserito in una fessura di connessione di tale terminale IDC. I fili che possono essere connessi ad componente con contatti multipli possono essere un cavo a nastro o un numero di singoli fili.

4.3.4 Esame generale dei campioni in prova

Le prove che consentono di effettuare l'*esame generale* dei campioni, anche se riportate in questa sezione, possono essere considerate come delle prescrizioni di base, in quanto valgono per tutti i componenti elettromeccanici e non specificatamente per le connessioni a spostamento di isolante. Queste prove vengono eseguite sui componenti da testare prima e durante (quando specificato) il vero e proprio programma di prove. Le *Prove di Tipo*, necessarie per eseguire l'esame generale dei componenti, vengono effettuate in accordo con la *Prova 1a: Esame a vista* e la *Prova 1b: Esame delle dimensioni e della massa*, della Pubblicazione Internazionale IEC 512-2-1. Di seguito verranno definite le prescrizioni che caratterizzano le Norme Internazionali succitate.

Esame visivo dei campioni: Questa prova verifica le modalità di identificazione, l'aspetto, la qualità di esecuzione e le finiture di un componente, nella maggior parte dei casi mediante l'ausilio di supporti ottici.

L'esame visivo è, in un certo qual modo, un metodo soggettivo; è importante comunque formulare un giudizio imparziale. I difetti, le deviazioni rispetto ad una data norma o le variazioni dovute alle sollecitazioni, devono essere attentamente differenziati secondo la loro importanza o il loro significato.

Le seguenti caratteristiche devono essere esaminate:

- qualità di esecuzione e finiture;
- marcatura;
- materiali;
- finitura della superficie, per esempio: tracce di corrosione, materiale estraneo nella o sulla superficie, colore (confronto con colori normalizzati o campioni), grado di lucentezza (confronto con uno standard applicabile, per esempio la scala di Bollo o un campione), rugosità, scanalature, ondulazioni, graffi, solchi, fori, pori, avvallamenti, creste, scale, fenditure, bave, riflessi, ecc;
- condizioni interne dei materiali traslucidi, per esempio: cavità, inclusioni gassose e linee di flusso, comprese le inclusioni di materia estranea;
- condizione e dislocazione di un lubrificante (per quanto possa essere accertato visivamente);
- parti allentate e staccate (specialmente dopo una sollecitazione).

L'esame visivo deve essere effettuato mediante uno dei seguenti metodi: ad occhio nudo (intensità normale della visione, percezione normale dei colori, alla distanza di osservazione più favorevole e con l'illuminazione adeguata) oppure con ingrandimento ottico. L'ausilio di metodi speciali, per esempio l'utilizzo di luce polarizzata (per l'osservazione delle tensioni interne dei materiali) o altri indicatori (per l'osservazione delle fessurazioni o dei pori all'interno dei materiali), non sono permessi ai fini di questa prova. Nello specifico, l'esame visivo, per le connessioni IDC, può essere effettuata con ingrandimento fino a circa cinque volte. Devono essere esaminate tutte le parti per controllare che i requisiti delle caratteristiche di progetto siano rispettati.

Tutti i terminali IDC da testare devono essere esenti da bave (sono ammesse bave di cesoiatura entro i 0,02 mm), incrinature, ammaccature, deformazioni e bordi di tranciatura frastagliati. Il rivestimento galvanico deve essere liscio ed uniforme e non deve presentare ombreggiature ed ossidazioni.

Oltre ai terminali anche gli involucri plastici che costituiscono il connettore devono essere sottoposti all'esame visivo. Tali componenti devono essere esenti da bave, incrinature, bruciature, filamenti, incompletezze, deformazioni e scolorazioni. Per quanto riguarda i contrassegni devono essere ben visibili il logo, il numero di codice dell'articolo, il numero dell'impronta e, quando le dimensioni dell'articolo lo permettono, il datario e il marchio di riciclaggio del materiale.

Esame delle dimensioni e della massa dei campioni: L'esame dimensionale e la verifica della massa sono misure effettuate sui componenti con attrezzi e apparecchi di misura appropriati, allo scopo di verificare la loro conformità alle caratteristiche di progetto specificate. Le caratteristiche da verificare sono le dimensioni di ingombro e la massa dei connettori, tali caratteristiche devono risultare conformi a quanto specificato nel disegno del componente. Non sono previste misure speciali dello spessore della protezione e misure della rugosità o delle irregolarità della superficie del componente.

Queste prove devono essere effettuate con appropriate apparecchiature di misura:

- con un calibro a verniero, un micrometro o un calibro a quadrante;
- con calibri;
- con un proiettore di misura avente un conveniente ingrandimento lineare;
- con un microscopio di misura;
- con una bilancia.

Le caratteristiche dello strumento di misura utilizzato devono sempre essere riportate nel rapporto di prova.

Una volta definito il procedimento che consente di effettuare l'esame generale dei campioni, è possibile passare alla descrizione delle metodologie di prova che devono essere eseguite per verificare l'affidabilità delle connessioni elettriche a spostamento di isolante. Le prove che devono essere effettuate sui connettori IDC sono Prove di Tipo *meccanico*, *elettrico* e *climatico-ambientale*, alle quali si aggiungono le *prove da effettuare sulle parti plastiche* dei componenti stessi. Nelle prossime sezioni verranno descritte nel dettaglio tutte queste prove, facendo riferimento anche agli standard dettati dagli Enti di Certificazione Industriale oltre che alle Normative Internazionali di riferimento.

4.4 Prove meccaniche

Come già detto nei capitoli precedenti, un qualsiasi connettore elettrico deve garantire una certa stabilità meccanica di connessione. Per verificare questo requisito fondamentale sono state prescritte, dalla Normativa Internazionale e dagli Enti di Certificazione, una serie di *prove meccaniche* a cui sottoporre le connessioni a spostamento di isolante. Alcune prove saranno diverse a seconda che la connessione IDC sia accessibile o non accessibile; questo sarà ovviamente specificato nella descrizione della prova.

In linea generale, un connettore non deve mostrare danni tali da pregiudicare la sicurezza dopo l'esposizione alle sollecitazioni meccaniche previste dal programma di prove. Lo stesso discorso vale per l'isolamento interno, il quale non deve presentare alcun danno che potrebbe pregiudicare l'uso normale. In un connettore montato per l'uso finale (connessione IDC non accessibile), i contatti devono essere trattenuti in modo sicuro nel frutto portacontatti dopo le sollecitazioni meccaniche.

4.4.1 Forza di estrazione trasversale del filo

Questa prova è applicata solamente alle connessioni elettriche accessibili a spostamento di isolante e definisce un metodo normalizzato per valutare l'attitudine di un componente fisso a sopportare condizioni di utilizzazione nelle quali possa essere sottoposto a sollecitazioni trasversali.

Lo scopo di questa prova è determinare la forza necessaria per rimuovere il filo dalla fessura di connessione del terminale IDC accessibile lungo l'asse longitudinale del terminale stesso.

Il campione di prova è costituito da un terminale IDC con il filo inserito. Se necessario, il terminale può essere separato dal componente, a condizione che la connessione elettrica IDC non venga alterata. In ogni caso la prova deve essere effettuata in assenza del coperchio premifilo che costituisce il connettore. Il terminale IDC deve essere tenuto saldamente fermo durante la prova mediante l'ausilio di una piastra molto robusta, in grado di sopportare le forze applicate. La prova deve essere realizzata connettendo conduttori (smaltati o con guaina) utilizzando l'apposito attrezzo per l'inserimento; questa prova deve essere realizzata almeno su cavo di sezione minima e cavo di sezione massima da inserire nel terminale IDC.

Dopo aver bloccato il terminale deve essere applicata una forza F al filo inserito, in modo da muoverlo lungo l'asse longitudinale della fessura di connessione del terminale stesso. La forza deve essere applicata utilizzando un dispositivo appropriato, per esempio una forchetta di prova. Un esempio di configurazione adatta per la prova è mostrato in **Figura 4.6**. Il gioco totale tra il terminale e la forchetta di prova non deve superare il 50% del diametro del filo.

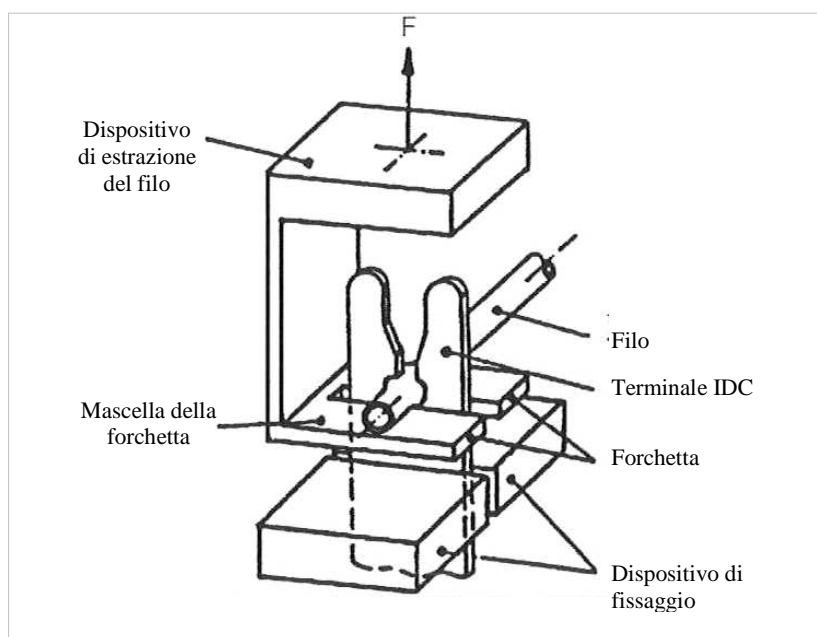


Figura 4.6 – Configurazione per la prova di estrazione trasversale del filo.

La forza deve essere applicata mediante un mezzo appropriato, per esempio una macchina per le prove di trazione (*cella dinamometrica*), la quale permette di rilevare i valori di rottura o sfilamento del cavo. La testa della macchina di trazione deve avere una velocità costante compresa tra 25 e 50 mm/min.

Il campione deve essere sottoposto alla prova fino a che il filo non si sposta dalla fessura del terminale. La forza massima deve ovviamente essere misurata e registrata. Tale forza non deve essere inferiore al valore minimo dato in **Tabella 4.2**.

Diametro nominale conduttori monofilari [mm]	Sezione trasversale conduttori a trefoli [mm ²]	Forza di estrazione trasversale minima [N]	
		Conduttori monofilari [N]	Conduttori a trefoli [N]
0,25 – 0,35	0,05 – 0,08	2	1
> 0,32 – 0,5	> 0,08 – 0,2	3	2
> 0,5 – 0,8	> 0,2 – 0,5	5	3
> 0,8 – 1,4	> 0,5 – 1,5	8	5
> 1,4 – 2,3	> 1,5 – 4,0	10	8
> 2,3 – 3,6	> 4,0 – 10,0	12	10

Tabella 4.2 – Forza di estrazione trasversale minima a seconda delle dimensioni e del tipo di filo utilizzato nella prova.

Come si vede in Tabella 4.2, si deve fare attenzione che i limiti di forza sono differenti per conduttori monofilari e conduttori a trefoli. I valori minimi limite indicano il valore che assolutamente non deve essere superato affinché la connessione possa considerarsi conforme alla norma e affidabile nel tempo. Si noti che la fine della prova richiede solamente che il cavo si sposti dalla posizione finale che assume nella connessione, e non che venga effettivamente estratto. Questo è fondamentale, infatti qualora il filo, pur non venendo estratto completamente, modifichi la propria posizione nel terminale, la connessione non è più in grado di garantire le specifiche elettriche e meccaniche nominali; ne consegue che l'affidabilità nel tempo è stata compromessa.

Questa prova viene effettuata sia per i connettori di tipo RS che per i connettori di tipo RAST.

4.4.2 Prova di resistenza alla trazione (carico statico assiale)

Lo standard *Tyco 108-20213* prevede anche una prova di *resistenza alla trazione del filo*, attraverso l'utilizzo di un carico assiale; questa prova non è contemplata nella Normativa Internazionale IEC 352. Anche gli standard dettati dalla VDE prevedono questo tipo di prova. Questa standard è riferito ai connettori RAST 5 attualmente prodotti da INARCA. Tale prova risulta molto simile a quella descritta nel paragrafo precedente, con la differenza sostanziale che la forza F applicata risulta perpendicolare alla forza trasversale considerata nella prova di estrazione. In questo caso la connessione IDC da testare è non accessibile. Volendo provare una connessione accessibile, è fondamentale mantenere il filo teso senza creare eccessivi angoli di spostamento.

Lo scopo della prova è quello di verificare l'attitudine del componente a sopportare una forza assiale costante, alla quale potrebbe essere sottoposto nelle normali condizioni di utilizzazione.

L'elemento deve essere rigidamente montato su di una piastra metallica, utilizzando appositi dispositivi di fissaggio. Successivamente, al filo, inserito nel terminale, deve essere applicato un carico assiale lungo la direzione del filo stesso, mediante una macchina di trazione avente una velocità costante di 25,4 mm/min. Per campioni costituiti da due fili nella fessura di connessione, la forza di trazione deve essere applicata ai due fili contemporaneamente.

La prova risulta superata se dopo l'applicazione della forza non avviene la separazione del filo dal terminale e se non sono presenti danni visibili; ovviamente questo viene verificato con un accurato esame a vista dei campioni (metodo di esecuzione definito nel paragrafo 4.3.4).

La **Tabella 4.3** indica i valori di forza da applicare per diverse sezioni del filo. La **Figura 4.7** invece illustra una semplice configurazione di prova, che mostra in particolare la direzione di applicazione della forza.

Sezione del filo [mm ²]	Forza assiale applicata [N]
< 0,5	30
< 0,75	40
< 1,0	50
< 1,5	50

Tabella 4.3 – Carico assiale di trazione in relazione alla sezione del filo.

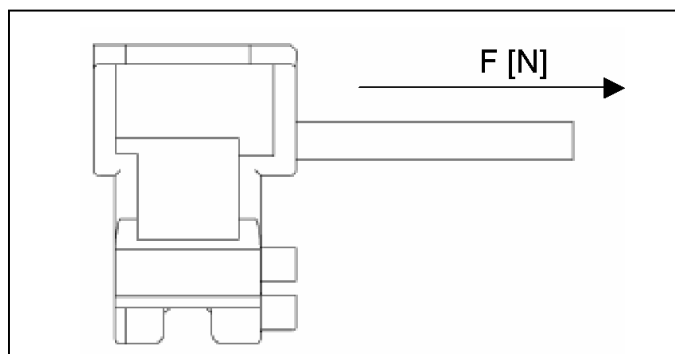


Figura 4.7 – Direzione di applicazione della forza per la prova di resistenza alla trazione.

4.4.3 Piegatura del filo

La prova di *piegatura del filo* presenta delle differenze a seconda che la connessione IDC da testare sia accessibile o non accessibile, l'esecuzione della prova risulta molto simile in entrambi i casi.

Lo scopo di questa prova è verificare la capacità di una connessione IDC di sopportare lo sforzo meccanico causato dalla piegatura del filo collegato nel modo specificato. Nel caso in cui la connessione IDC sia di tipo non accessibile solitamente la prova viene effettuata su di un cavo a nastro.

Connessione IDC non accessibile: Il campione di prova (costituito dal terminale, dal filo e dal componente che lo racchiude) deve essere mantenuto saldamente in una posizione tale che il filo (monofilare o a trefoli) o il cavo a nastro penda lungo il suo asse longitudinale nella fessura di connessione. Un carico assiale F , costituito da un "peso", deve essere applicato all'estremità libera del filo o del cavo a nastro per mantenerlo diritto. Il valore del carico deve essere:

- dal 5% al 10% del carico di rottura del filo laddove vengano provati singoli fili;
- da 10 N a 50 N laddove vengano provati cavi a nastro. Il carico applicabile dipende dal numero di fili del cavo, dal diametro del filo, dal tipo e dal materiale dell'isolante e deve sempre essere specificato nel rapporto di prova. E' fondamentale che il carico sia uniformemente distribuito sull'intero cavo.

Il filo o il cavo devono poi essere piegati in entrambe le direzioni dalla verticale, e ciò definisce un ciclo di prova. L'angolo di piegatura α del filo deve essere come minimo di 30°, ma si raccomanda di effettuare la prova anche con angoli di 60° e 90°.

La piegatura del cavo o del filo deve essere effettuata con un dispositivo appropriato. Una configurazione tipica della prova di piegatura del filo è illustrata in **Figura 4.8**.

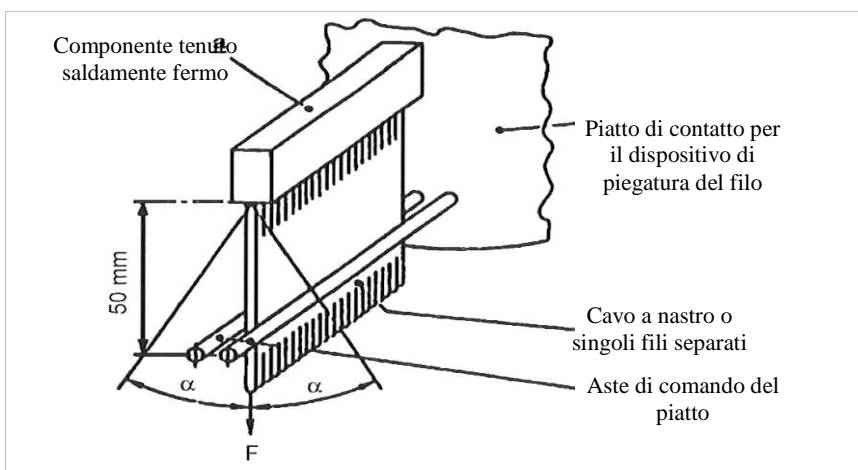


Figura 4.8 – Configurazione per la prova di piegatura del cavo/filo (connessioni IDC non accessibili).

Laddove debbano essere provati singoli fili di connessione ad un componente con contatti multipli la prova deve essere effettuata con un certo numero di fili (campioni) per componente; questo problema sarà trattato nel prossimo capitolo, dove verranno definiti i metodi di preparazione dei campioni. I campioni comunque devono essere provati in sequenza o simultaneamente.

Connessione IDC accessibile: Il campione di prova è costituito da un terminale IDC con filo inserito. Tale campione di prova deve essere tenuto fermo in posizione tale che il filo penda lungo il suo asse longitudinale nella fessura di connessione. Un carico assiale F , costituito da un "peso", deve essere applicato all'estremità libera del filo per tenerlo dritto. Il valore di questo carico deve essere compreso tra il 5% e il 10% del carico di rottura del filo. Successivamente il filo deve essere piegato in entrambe le direzioni dalla verticale, e ciò definisce un ciclo di prova. L'angolo di piegatura α del filo deve essere come minimo di 30° , ma si raccomanda di effettuare la prova anche con angoli di 60° e 90° . La piegatura del filo deve essere effettuata con un dispositivo appropriato. Una configurazione tipica della prova di piegatura del filo è illustrata in **Figura 4.9**.

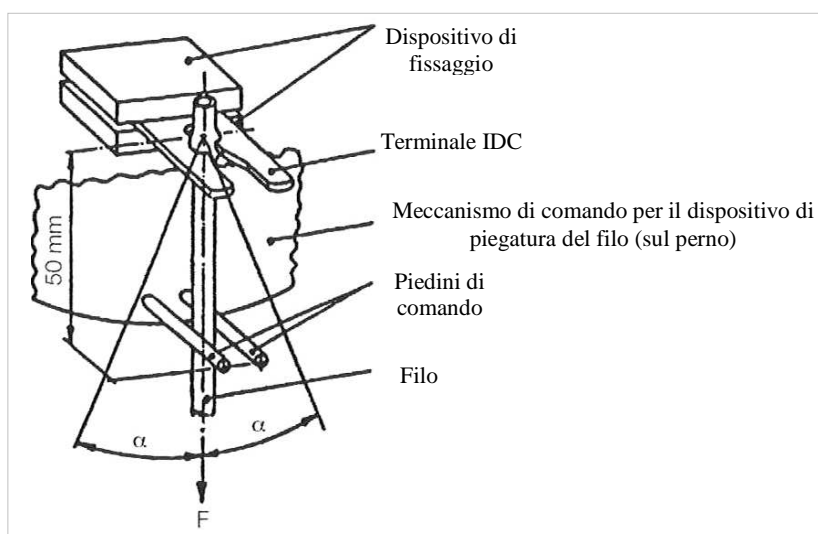


Figura 4.9 – configurazione per la prova di piegatura del filo (connessioni IDC accessibili).

Il numero di cicli della prova di piegatura del filo deve essere 10, sia che la connessione IDC da testare sia accessibile o non accessibile. Vanno sempre testate le sezioni massime e minime dei campioni in prova come per la prova di estrazione trasversale.

Dopo la prova, il terminale non deve risultare danneggiato ed il conduttore non deve essere rotto, solo in questo caso la prova si può considerare superata.

Durante la prova di piegatura del filo deve essere verificata anche la *perturbazione del contatto*; questa prova sarà descritta dettagliatamente nella prossima sezione (paragrafo 4.5.1). Il limite della durata della perturbazione del contatto deve essere 1 μ s.

La prova di piegatura del filo viene effettuata sia per i connettori di tipo RS che per i connettori di tipo RAST.

La prova di piegatura del filo, appena definita, si basa anche sullo standard *UL 486 C*, il quale definisce anche i metodi di esecuzione per la prova di estrazione trasversale e di resistenza alla trazione.

4.4.4 Vibrazioni

Il termine *vibrazione* si riferisce in particolar modo ad un'oscillazione meccanica attorno ad un punto di equilibrio; l'unità di misura della vibrazione è l'Hertz (Hz), che misura la frequenza di vibrazione al secondo. L'oscillazione può essere periodica, come il moto di un pendolo, oppure casuale, come il movimento di una gomma su di una strada asfaltata. In molti casi le vibrazioni rappresentano un fenomeno desiderato, per esempio negli strumenti musicali. Più spesso però le vibrazioni non sono desiderate, possono infatti disperdere energia, provocare instabilità meccaniche, creare suoni e rumori indesiderati. In questo paragrafo, per non appesantire troppo la trattazione, non verrà riportata la spiegazione teorica del fenomeno della vibrazione ma solo il metodo di realizzazione della prova dedicata alle connessioni IDC.

Per quanto riguarda le connessioni elettriche in generale, la Normativa Internazionale che descrive le vibrazioni è la *Parte 2-6: Prove – Prova F_c: Vibrazioni (sinusoidali)* della Pubblicazione *IEC 60068*; per quanto riguarda la prova di resistenza alle vibrazioni, essa deve essere effettuata in accordo con la *Prova 6d: Vibrazioni* della Pubblicazione *IEC 512-4*. La severità adottata per la prova è riportata sempre nella norma specifica per le connessioni IDC che è la *IEC 352*; tale severità risulta la stessa sia per le connessioni IDC accessibili che non accessibili. Questa prova viene definita dettagliatamente anche dallo standard *Tyco 108-20213* e dallo standard di sicurezza *VDE* per i connettori RS.

Lo scopo della prova è quello di definire un metodo normalizzato per valutare l'attitudine di un componente a sopportare vibrazioni di severità specificata. Risulta quindi fondamentale individuare qualsiasi debolezza meccanica o degradazione rispetto alle prestazioni specificate, per decidere l'accettabilità del campione. La prova inoltre serve per dimostrare la robustezza ed il comportamento dinamico dei campioni, per classificarli in categorie basate sulla severità.

Il metodo di prova normalizzato, definito dalla *IEC 60068*, consiste essenzialmente nel sottoporre un campione a vibrazioni sinusoidali su una data banda di frequenze specificate o in corrispondenza di frequenze discrete per un dato periodo di tempo; allo scopo di determinare le frequenze critiche del campione può anche essere prescritta una ricerca della risposta alla vibrazione (*risposta vibratoria*). Si sottolinea inoltre che una prova di vibrazione presuppone sempre un certo grado di esperienza ingegneristica e sia il fornitore del servizio che il cliente dovrebbero esserne pienamente consapevoli. Tuttavia, la prova sinusoidale è deterministica e quindi relativamente semplice da effettuare. Si applica facilmente sia all'indagine di tipo diagnostico che alla simulazione della vita di servizio.

Le connessioni IDC vengono molto spesso utilizzate in applicazioni che sono soggette a vibrazioni forzate, dovute alla costruzione non perfettamente simmetrica degli organi in rotazione presenti;

applicazioni di questo tipo sono gli elettrodomestici, come ad esempio le lavatrici oppure i motori elettrici.

Per effettuare la prova, l'elemento deve essere fissato saldamente (molto importante) su di un *tavolo vibrante*. Ciascun elemento deve essere cablato conformemente alle istruzioni del costruttore, utilizzando il normale metodo di montaggio. Gli elementi devono essere provati in maniera che tutte le parti meccaniche, quali il fissaggio del pannello, i dispositivi di bloccaggio e quelli di ritenzione, siano pienamente utilizzati. Un minimo di 200 mm di filo o cavo deve restare libero a entrambe le estremità del campione. La prova viene effettuata di norma con più contatti connessi in serie.

Prima di dare inizio alla prova devono essere effettuate delle misure preventive, eccetto quelle che sono state effettuate durante le misure finali della prova eseguita in precedenza. I requisiti iniziali di prova sono riportati di seguito:

- durante la durata totale dell'ultima valutazione di frequenza in tutte le direzioni, deve essere attuato il controllo della continuità elettrica sui contatti tra loro connessi in serie, iniettando nel circuito una corrente continua non superiore ai 100 mA (prova di perturbazione del contatto);
- l'elemento deve essere fatto vibrare in ciascuna delle tre direzioni tra loro perpendicolari, una delle quali deve essere parallela all'asse dell'elemento stesso;
- al termine della prova l'elemento deve essere sottoposto alle seguenti prove: esame a vista senza smontare il componente (descritto nel paragrafo 4.3.4), verifica funzionale, resistenza di contatto con il metodo millivoltmetrico (vedi paragrafo 4.5.1) e verifica di ermeticità.

In base all'ultimo punto succitato, possiamo dire che la prova di resistenza alle vibrazioni risulta superata se non si osservano allentamenti, spostamenti di parti né danni meccanici tali da alterare il funzionamento del contatto.

Durante la prova delle vibrazioni deve essere verificata anche la perturbazione del contatto; questa prova sarà descritta dettagliatamente nella prossima sezione (paragrafo 4.5.1). Il limite della durata della perturbazione del contatto deve essere 1 μ s.

In **Figura 4.10** e in **Figura 4.11** sono mostrate due configurazioni tipiche adatte per la prova, rispettivamente per connessioni IDC non accessibili e connessioni IDC accessibili; si può notare che il montaggio della prova risulta identico in entrambi i casi.

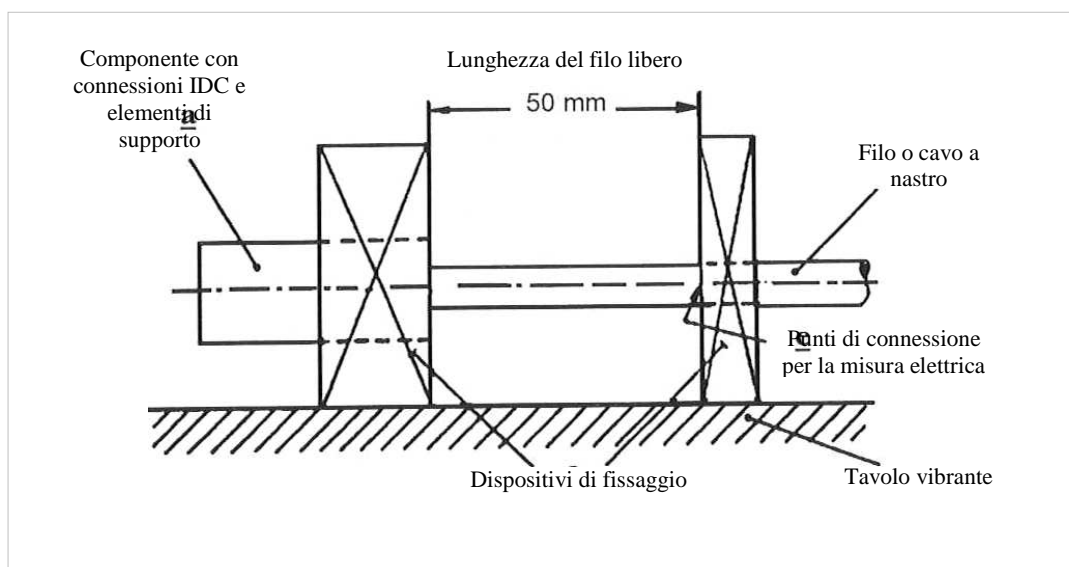


Figura 4.10 – Configurazione per la prova delle vibrazioni (connessione IDC non accessibile).

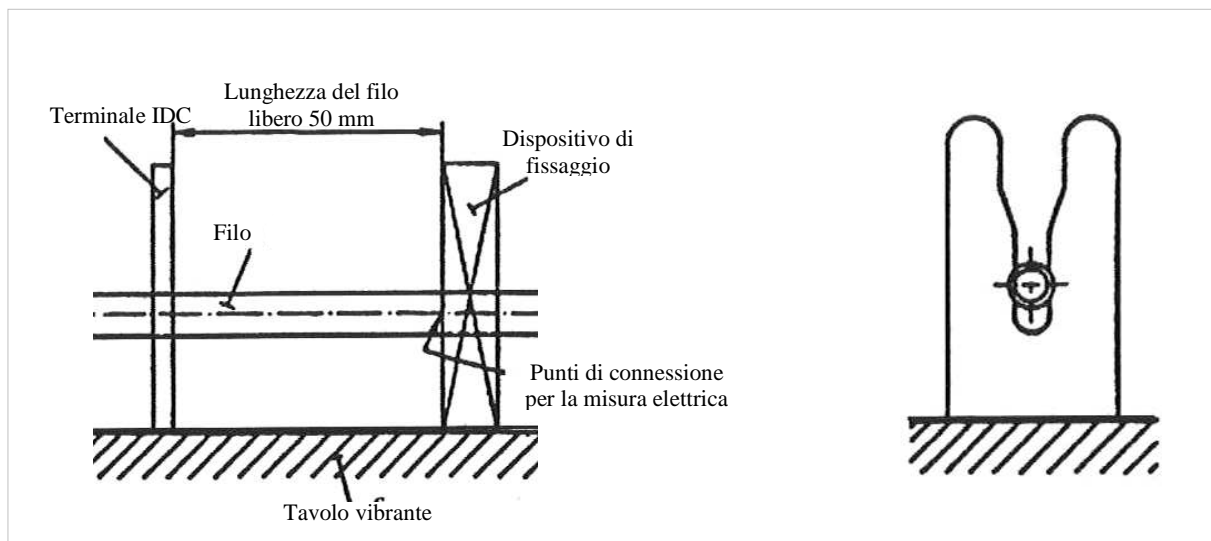


Figura 4.11 – Configurazione per la prova delle vibrazioni (connessione IDC accessibile).

Una volta montati i campioni si procede all'applicazione del *segnale di controllo* (sinusoidale) al tavolo vibrante, lungo le direzioni specificate. Il segnale deve essere applicato con un certo *ciclo di scansione*, che sarebbe l'estensione della gamma di frequenze, specificata una volta per ciascuna direzione. Questa tipologia di prova prende il nome di *prova di durata mediante scansioni*. Per le connessioni IDC, sia accessibili che non accessibili, la gamma di frequenze da applicare e il numero di cicli di scansione sono specificati in **Tabella 4.4**. Le severità di prova comprendono però anche altri parametri fondamentali che devono essere rispettati, che sono l'ampiezza della vibrazione, le direzioni di vibrazione e la *frequenza di incrocio*. Quest'ultimo parametro è molto significativo in quanto al di sotto della frequenza di incrocio tutte le ampiezze sono specificate in termini di spostamento costante, mentre al di sopra di questa frequenza, le ampiezze sono date in termini di velocità o accelerazione costante. Ciascun valore di ampiezza di spostamento è associato ad un corrispondente valore di ampiezza di accelerazione, in modo che l'ampiezza della vibrazione sia la stessa alla frequenza di incrocio.

Gamma di frequenze [Hz]	Da 10 a 55	Da 10 a 500	Da 10 a 2000
Frequenza di incrocio [Hz]	–	Da 57 a 62	da 57 a 62
Ampiezza dello spostamento sotto la frequenza di incrocio [mm]	0,35	0,35	1,5
Ampiezza dell'accelerazione sopra della frequenza di incrocio [m/s^2]	–	50 (5 g)	200 (20 g)
Direzioni	3 assi	3 assi	3 assi
Numero di cicli di scansione per direzione	5	5	5

Tabella 4.4 – Severità di prova preferenziali per la prova alle vibrazioni.

Nella Tabella 4.4 le accelerazioni sono indicate anche con la lettera g , che rappresenta l'accelerazione normalizzata dovuta alla gravità terrestre; nella presente trattazione, questo valore sarà approssimato per eccesso a 10 m/s^2 .

Le frequenze e le ampiezze date in Tabella 4.4 sono state selezionate per coprire le risposte in frequenza corrispondenti ad un ampio campo di utilizzo. Quando un'apparecchiatura è destinata ad un'unica applicazione, è preferibile basare la severità sulle caratteristiche vibratorie dell'ambiente reale, se esse sono note. Se si vuole simulare l'ambiente reale possono essere richieste frequenze di incrocio diverse da quelle normalizzate, in questo caso occorre tener presente i limiti del generatore di vibrazioni. È importante che l'ampiezza in spostamento selezionata non corrisponda ad un'ampiezza in accelerazione che, nella zona delle basse frequenze, sia confrontabile con il livello del rumore residuo del sistema di vibrazione. Se necessario, il problema può essere superato utilizzando un *filtro ad inseguimento* oppure, se la prova è stata condotta nella sua totalità a frequenze basse, impiegando un *trasduttore di spostamento* nel circuito di controllo.

Si deve inoltre ricordare che per le connessioni a spostamento di isolante, gli standard industriali e le Normative Internazionali, non prevedono la ricerca della risposta vibratoria del campione.

La Normativa Internazionale *IEC 60068-2-6* indica anche una serie di altre prescrizioni da seguire per effettuare la prova alle vibrazioni (sinusoidali). Di seguito saranno riportate solo le nozioni fondamentali che sono necessarie per testare le connessioni a spostamento di isolante e completare la trattazione di questa prova.

Caratteristiche richieste e tolleranze: Le caratteristiche richieste si applicano all'interno del *sistema di vibrazione*, che comprende l'*amplificatore di potenza*, l'*eccitatore*, l'*attrezzatura di fissaggio* di prova, il campione ed il *sistema di controllo* una volta pronti per la prova.

L'esecuzione della prova deve sempre prevedere dei *punti di verifica*, i quali sono collocati sull'attrezzatura di fissaggio, sulla tavola vibrante o sul campione più vicino possibile ad uno dei suoi *punti di fissaggio* (parti del campione in contatto con l'attrezzatura di fissaggio), e in ogni caso rigidamente fissato ad esso. Almeno un punto di verifica deve essere scelto, per controllare che il segnale di controllo utilizzato per la prova sia effettivamente quello prescritto dalla norma (tale punto viene detto *punto di riferimento*). Il controllo del segnale è effettuato da un *trasduttore di vibrazione* (*accelerometro*) applicato al punto di riferimento; può anche essere effettuato un *controllo multipunto*, ottenuto utilizzando i segnali provenienti da ciascuno dei trasduttori applicati nei punti di verifica.

Il moto fondamentale del sistema vibrante deve essere una funzione sinusoidale del tempo e tale che i punti di fissaggio del campione si muovano essenzialmente in fase e lungo linee rette parallele.

La massima ampiezza della vibrazione nei punti di verifica, lungo un qualsiasi asse perpendicolare all'asse specificato (asse trasversale al moto principale), non deve superare il 50% dell'ampiezza specificata fino a 500 Hz o il 100% per frequenze maggiori di 500 Hz.

Nel caso dei connettori IDC non sono prescritte particolari misure di tolleranza del segnale in accelerazione, in ogni caso la tolleranza sul segnale non deve superare il 5%. Questa tolleranza del segnale T è definita in termini percentuali dalla seguente espressione, dove NF rappresenta il valore efficace del segnale ed F il valore efficace del segnale filtrato:

$$T = \left(\frac{NF}{F} - 1 \right) \cdot 100 \quad (4.1)$$

L'ampiezza del moto fondamentale lungo l'asse richiesto nei punti di verifica e di riferimento deve essere uguale al valore prescritto, con le tolleranze specificate di seguito. Queste tolleranze comprendono anche gli errori di strumentazione.

La tolleranza del segnale di controllo nel punto di riferimento deve essere $\pm 15\%$. Invece la tolleranza del segnale di controllo in ciascun punto di verifica deve essere $\pm 25\%$ fino a 500 Hz e $\pm 50\%$ oltre 500 Hz.

Per le connessioni IDC, come già detto in precedenza, è prevista la prova di durata mediante scansioni, alla quale si applicano le seguenti tolleranze sulla frequenza: $\pm 0,05$ Hz fino a 0,25 Hz; $\pm 20\%$ tra 0,25 Hz e 5 Hz; ± 1 Hz tra 5 Hz e 50 Hz; $\pm 2\%$ oltre 50 Hz.

In genere, se si utilizza un campione di piccole dimensioni o di massa piccola con una tavola vibrante di grandi dimensioni, non sussiste alcun problema di tolleranza del segnale.

Derivazione del segnale di controllo: Per ottenere il segnale di controllo sono disponibili parecchi metodi. Se ad esempio, è specificato un segnale di controllo che è la media di molti punti (controllo multipunto), cioè ottenuto dalla media aritmetica dei valori di vibrazione dei vari punti di verifica; un metodo consiste nell'ottenere il segnale mediato elaborando le tensioni continue proporzionali ai livelli di accelerazione di picco in ciascun punto di verifica.

Se si utilizza la scansione temporale, allo scopo di stabilire una sorveglianza periodica di ciascun punto di verifica, conviene che la frequenza dell'operazione di sorveglianza non sia maggiore della frequenza di eccitazione, in modo che almeno un periodo di ciascun segnale sia tenuto in conto. Per esempio, se vengono utilizzati quattro trasduttori a 100 Hz, il periodo di sorveglianza di ciascun punto non dovrebbe essere inferiore a 0,01 s. Possono tuttavia verificarsi dei problemi quando un tale sistema viene utilizzato congiuntamente ad un filtro ad inseguimento e, in questo caso, occorre prendere delle adeguate precauzioni.

Il sistema di campionamento può anche causare problemi quando la prova deve essere controllata a spostamento costante, poiché il segnale in accelerazione, che viene integrato due volte, non è proporzionale all'ampiezza di spostamento a causa della tolleranza sul segnale dovuta alla differenza di fase tra i segnali campionati.

E' importante che il sistema di vibrazione nel suo insieme abbia un basso livello di rumore residuo, in modo che la maggior parte della tolleranza specificata sia disponibile durante la prova. Tipicamente $0,6 \text{ m/s}^2$ è una soglia di rumore accettabile per l'intero sistema.

Procedure per le prove di durata: Nella prova di durata tramite scansioni, utilizzata per le connessioni IDC, la frequenza del segnale di controllo viene fatta variare su una determinata banda di frequenza, con la velocità di scansione, l'ampiezza e la durata selezionate dalla Tabella 4.4. Se necessario, il campo di frequenza può essere suddiviso, a condizione che le sollecitazioni sul campione non ne siano ridotte. Nel caso delle connessioni a spostamento di isolante la prova serve semplicemente a dimostrare la capacità del campione di sopportare vibrazioni di ampiezza appropriata e di poter funzionare in loro presenza, è sufficiente che la prova duri abbastanza a lungo da dimostrare questo requisito su un prescritto campo di frequenza. Nei casi in cui si deve dimostrare la capacità dell'oggetto di sopportare gli effetti cumulati delle vibrazioni, come la fatica e le deformazioni meccaniche, occorre che la prova sia di durata sufficiente ad accumulare i necessari cicli di sollecitazione. Per una dimostrazione di vita illimitata a fatica, si considera normalmente adeguato un totale di 10^7 cicli di sollecitazione.

Scansioni: La scansione deve essere continua e la frequenza deve cambiare in modo esponenziale in funzione del tempo. La velocità di scansione deve essere pari ad una ottava al minuto con una tolleranza di $\pm 10\%$. Nel caso di ricerca della risposta vibratoria questa velocità può variare.

Durante la scansione, la frequenza deve variare esponenzialmente in funzione del tempo secondo la seguente relazione, dove f rappresenta la frequenza, f_l è il limite inferiore in frequenza della scansione,

k è il fattore dipendente dalla velocità di scansione e t è il tempo:

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt} \quad (4.2)$$

Per questa prova, la velocità di scansione è pari ad una ottava al minuto, quindi $k = \log_e 2 = 0,693$, se il tempo è espresso in minuti.

Il numero di ottave X per un ciclo di scansione è dato da (con f_2 che rappresenta il limite superiore in frequenza della scansione):

$$X = 2 \cdot \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \cdot \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = 6,644 \cdot \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \quad (4.3)$$

Dall'espressione 4.3 è possibile ricavare i valori delle durate associate al numero di cicli di scansione e ai campi di frequenza raccomandati.

Per un sistema digitale l'onda sinusoidale in uscita può essere prodotta da un sintetizzatore analogico esterno o interamente da una sequenza finita di dati numerici contenente una parte del segnale sinusoidale. Nel primo caso si genera un'onda sinusoidale continua pura, questo porta a non avere differenza fra i sistemi analogico e numerico. Nel secondo caso, il segnale analogico prodotto dal convertitore digitale/analogico non è continuo ma consiste in un certo numero di piccolo gradini. E' necessario un filtro passa-basso che filtrando questi gradini sia in grado di produrre una forma essenzialmente sinusoidale e pura. E' altresì importante che i dati di sequenze successive di comando si colleghino in modo da produrre un'onda sinusoidale "pulita".

Una valutazione del numero di cicli di sollecitazione N , del numero di ottave X e della durata della scansione S per un ciclo di scansione $f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$ può essere ottenuta dalle formule seguenti (dove SR è la velocità di scansione in ottave/minuto):

$$N = \frac{(f_1 - f_2) \cdot 60 \cdot 2}{\log_e 2 \cdot SR} \quad (4.4)$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \cdot 2}{\log_e 2} \quad (4.5)$$

$$S = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \cdot 2}{\log_e 2 \cdot SR} \quad (4.6)$$

Risposta dinamica: Le vibrazioni causano delle sollecitazioni dinamiche che si producono all'interno del campione e che possono provocare dei danni. L'esempio classico è la sollecitazione prodotta in un

semplice sistema *massa/molla* quando il sistema è collegato ad un corpo vibrante la cui inerzia è grande in confronto a quella della massa. Alla frequenza di risonanza il sistema massa/molla risponde con un aumento dell'ampiezza del moto, introducendo un aumento della sollecitazione nella molla. L'esecuzione di una prova di durata ad una tale frequenza di *risonanza* richiede molto buon senso ingegneristico. La difficoltà risiede principalmente nella determinazione delle frequenze di risonanza significative. Un problema aggiuntivo è quello di mantenere la frequenza di eccitazione alla risonanza. In particolare alle alte frequenze le risonanze sono ben visibili, quindi localmente possono verificarsi alti livelli di sollecitazione.

Le procedure di prova per le connessioni IDC implicano che l'ampiezza della vibrazione (spostamento o accelerazione) deve essere mantenuta ad un valore prescritto, indipendentemente dalla reazione dinamica del campione. Questo è in linea con lo stato dell'arte odierno in materia di prove di vibrazione di tipo generale. E' ben noto che, quando un campione è eccitato alla sua frequenza di risonanza, la sua massa apparente può essere alta in confronto con quella della sua struttura di supporto normale. In tale caso, la reazione del campione può essere notevole. Normalmente, la forza di eccitazione e l'impedenza meccanica della struttura di supporto non sono note ed è solitamente difficile fare ipotesi di ordine generale per quanto concerne questi parametri.

4.4.5 Connessioni e sconnessioni ripetute di terminali IDC riutilizzabili

Lo scopo di questa prova è verificare la capacità dei terminali IDC, sia accessibili che non accessibili, riutilizzabili, di sopportare un numero di connessioni e sconnessioni specificato.

Le connessioni IDC non accessibili riutilizzabili possono essere parzialmente o totalmente smontate, al fine di facilitare l'esecuzione della prova.

Il filo specificato deve essere inserito nel terminale IDC riutilizzabile nella maniera indicata e poi deve essere estratto. Queste due operazioni eseguite una sola volta costituiscono un ciclo. L'ultimo ciclo di un numero specificato di cicli di prove consiste in una sola inserzione del filo nel terminale, cioè in ogni caso, deve esserci una connessione completa IDC alla fine di un numero specificato di prove. Per il numero totale di cicli di prova deve essere provato sempre lo stesso terminale IDC. Una nuova parte del filo o un nuovo filo dello stesso tipo deve essere utilizzato per ogni ciclo di prova.

Dove i terminali sono progettati per accettare una gamma diversa di dimensioni dei conduttori, tutti i cicli, eccetto l'ultimo, devono essere realizzati con il conduttore di massima dimensione specificata. L'ultimo ciclo e la misura finale devono essere realizzati sul conduttore di dimensione minima.

Le dimensioni del conduttore per l'ultimo ciclo e il numero di cicli da effettuare devono essere indicati nel rapporto di prova. I valori preferenziali del numero di cicli sono 4, 20 o 100.

4.4.6 Microsezione

Nella Pubblicazione IEC 352-4, che riguarda le connessioni elettriche non accessibili a spostamento di isolante, è definita anche la prova per la valutazione della *microsezione*. Questa prova è considerata opzionale, in quanto tale valutazione potrebbe essere molto difficile e deve essere considerata con prudenza, a causa della grande varietà di interpretazioni tra le persone che effettuano la prova stessa (la Normativa Internazionale *ISO 1463* può essere utilizzata come guida per la microsezione).

Lo scopo di questa prova è quello di verificare che la connessione IDC sia stata eseguita a regola d'arte controllando la deformazione del conduttore dopo l'operazione di inserimento. I campioni devono essere esaminati a vista utilizzando un'apparecchiatura adatta, il cui ingrandimento deve essere di 10 volte.

Il piano di microsezione deve essere correttamente posizionato, cioè deve essere perpendicolare all'asse del filo e interamente contenuto nel terminale IDC.

Le prescrizioni riportate di seguito caratterizzano una connessione accettabile ma in tutti i casi devono essere effettuate prove meccaniche, elettriche e climatiche. Nella valutazione della microsezione bisogna quindi verificare:

- il conduttore monofilare o tutti i fili elementari devono essere posizionati tra l'apertura e l'estremità chiusa della fessura di connessione alla distanza definita dal costruttore del terminale;
- la deformazione del diametro di un conduttore monofilare circolare o del diametro apparente di un conduttore a treccia, compresa la deformazione del diametro di quei fili elementari che sono in diretto contatto con la linguetta, deve essere identificabile;
- non ci deve essere danno visibile alla linguetta del terminale IDC causato dallo strumento di inserzione o dal blocco di guida.

La Figura 3.8 e la Figura 3.9 (del precedente capitolo) mostrano due esempi pratici di microsezione di connessioni IDC.

4.5 Prove elettriche

Per verificare il grado di stabilità elettrica di una connessione a spostamento di isolante, le Normative Internazionali e gli Enti di Certificazione Industriale prescrivono una serie di *prove elettriche* a cui sottoporre i campioni. Prima di effettuare queste prove, è fondamentale conoscere la *temperatura limite superiore (TLS)* e la *temperatura limite inferiore (TLI)* di categoria climatica del connettore da testare (entrambe definite nel paragrafo 4.2.1). E' giusto ricordare che questi due valori di temperatura devono essere rispettati per poter effettuare le prove elettriche.

4.5.1 Perturbazione di contatto

La prova di verifica della perturbazione di contatto è già stata chiamata in causa per quanto riguarda la prova di piegatura del filo e per la prova alle vibrazioni. Per le connessioni IDC, la verifica della perturbazione del contatto deve essere effettuata durante le prove succitate e in accordo con la *Prova 2e: Disturbi di contatto*, della Pubblicazione *IEC 512-2-2*. Lo scopo di questa norma è quello di descrivere un metodo di prova normalizzato per rilevare i disturbi di contatto dei componenti elettromeccanici in specificate condizioni dinamiche. Come già specificato in precedenza, per le connessioni IDC il limite della durata della perturbazione deve essere di 1 μ s.

Per verificare la perturbazione del contatto, il campione deve essere montato conformemente al suo normale metodo di montaggio. I disturbi di contatto devono essere determinati in condizioni dinamiche. Il monitoraggio dei disturbi deve essere effettuato durante un periodo specifico, il quale deve essere riportato nel rapporto di prova. I contatti possono essere monitorati individualmente o in uno o più gruppi. Quando sono monitorati in gruppo, i contatti chiusi possono essere collegati in serie e i contatti aperti possono essere collegati in parallelo. Nel caso in cui si dovesse verificare un guasto quando i contatti sono provati in gruppo, è permesso provare in successione i contatti individuali.

La misura della perturbazione deve essere effettuata con una corrente continua non superiore a 150 mA, mentre la tensione di alimentazione non deve essere superiore a 10 V.

Secondo la IEC 512-2-2, un contatto chiuso è considerato disturbato quando la tensione ai suoi capi supera il 50% della tensione di alimentazione. Un contatto aperto invece è considerato disturbato

quando la tensione ai suoi capi scende al di sotto del 50% della tensione di alimentazione. Il disturbo di contatto può venire considerato anche come una variazione della resistenza di contatto.

4.5.2 Resistenza di contatto

In questo paragrafo verranno descritti i metodi per effettuare la misura della resistenza di contatto nelle connessioni IDC accessibili e non accessibili. Questa resistenza è un parametro fondamentale che viene associato alla stabilità elettrica di un qualsiasi connettore. Per garantire l'affidabilità della connessione, i valori della resistenza di contatto devono rimanere bassi durante tutta la vita del componente.

Nella pratica, la prova della resistenza di contatto deve essere effettuata secondo la *Prova 2a: Resistenza di contatto - Metodo millivoltmetrico*, o la *Prova 2b: Resistenza di contatto – Metodo della corrente di prova specificata*, della Pubblicazione IEC 512-2-2. Lo scopo di queste norme è la definizione di un metodo di prova normalizzato per misurare la resistenza elettrica ai capi di una coppia di contatti collegati o di un contatto singolo, con uno strumento di misura. Naturalmente oltre che in queste due norme IEC, la misura della resistenza di contatto è descritta dettagliatamente anche negli standard Tyco, VDE e UL. Di seguito verranno spiegati nel dettaglio i due metodi di prova da utilizzare.

In entrambi i metodi di misura, la resistenza di contatto viene normalmente ricavata dalla caduta di tensione misurata tra le zone previste per la connessione del cablaggio ai contatti. Il contatto non deve essere manovrato mentre la tensione di misura viene applicata. Durante le misure, devono essere prese le adeguate precauzioni per evitare che pressioni anomale vengano esercitate sui contatti sottoposti alla prova e per evitare movimenti dei cavi in prova.

Nel caso che la connessione da provare sia non accessibile, la resistenza del cavo o del filo usato deve essere sottratta dal valore misurato; il valore corretto deve essere ovviamente registrato.

Metodo millivoltmetrico: Le misure per determinare la resistenza di contatto di una connessione IDC possono essere effettuate con corrente continua o corrente alternata. Per le misure in corrente alternata, la frequenza non deve essere superiore a 2 kHz. In caso di controversia, valgono le misure effettuate in corrente continua. La precisione dell'apparecchio utilizzato per la misura deve essere tale che l'errore totale non superi l'1%. La resistenza di contatto deve essere ricavata dalla misura della caduta di tensione e della corrente (metodo millivoltmetrico).

Le resistenze di contatto rappresentano anche degli elementi anomali, cioè hanno un comportamento non lineare in funzione della corrente, è perciò opportuno porre la connessione voltmetrica a valle del contatto.

La tensione di prova non deve superare i 20 mV in corrente continua o la tensione di picco in corrente alternata, per impedire il danneggiamento di eventuali pellicole isolanti sui contatti. La corrente di prova invece non deve essere superiore a 100 mA, sia in corrente continua che in corrente alternata. Le misure di resistenza devono essere effettuate nel più breve tempo possibile, al fine di non riscaldare eccessivamente il campione durante la prova.

Per le misure in corrente continua un ciclo di misura comporta: l'applicazione della tensione, la misura con la corrente diretta in un senso, la misura con la corrente diretta in senso opposto e la sconnessione della sorgente di tensione. Per le misure in corrente alternata un ciclo di misura comporta: l'applicazione della tensione, l'esecuzione della misura e la sconnessione della sorgente di tensione.

Se non diversamente specificato, il o i contatti realizzati non dovrebbero essere disturbati tra la fine della prova precedente e l'applicazione della tensione di questa prova.

I valori della resistenza di contatto non devono superare i valori prescritti dalle Normative Internazionali IEC 352, i quali verranno riportati successivamente.

La misura della resistenza di contatto con corrente continua deve essere la media delle due letture ottenute con la corrente in un senso e nel senso inverso. L'uso della seguente formula assicurerà che la resistenza di contatto R calcolata sia sempre corretta, dove V_{mf} e V_{mr} sono rispettivamente la tensione diretta e la tensione inversa misurata, mentre I_f e I_r sono rispettivamente la corrente diretta e la corrente inversa misurata:

$$R = \frac{|V_{mf} - V_{mr}|}{|I_f| - |I_r|} \quad (4.7)$$

Qualsiasi deviazione dalla procedura di prova normalizzata dovrebbe essere chiaramente indicata nel rapporto di prova.

Se la resistenza di contatto viene misurata con questo procedimento, si può anche effettuare la valutazione della variazione della resistenza di contatto; tale variazione deve essere determinata in condizioni dinamiche. La prova deve essere effettuata in accordo con la *Prova 2c: Variazione della resistenza di contatto* della Pubblicazione IEC 512-2-2.

L'elemento di prova deve essere sempre montato secondo il normale metodo di montaggio. La misura deve essere effettuata con una corrente continua non superiore a 50 mA e la forza elettromotrice del circuito non deve essere superiore a 20 mV. Per determinare la variazione della resistenza di contatto la norma succitata prescrive di utilizzare un oscilloscopio a raggi catodici (con schermo a lunga persistenza) che visualizza la caduta di tensione misurata nei punti indicati. L'apparecchio di misura deve avere una risposta in frequenza costante: entro ± 3 dB tra 400 Hz e 1 MHz. Se viene impiegato un oscilloscopio, esso deve avere la seguente sensibilità:

- 50 μ V/cm o superiore, fino a 1 MHz, per misure di resistenze fino a 5 m Ω ;
- 500 μ V/cm o superiore, fino a 1MHz, per misure di resistenze fino a 30 m Ω ;
- 1 μ V/cm o superiore, fino a 1 MHz, per misure di resistenze superiori a 30 m Ω .

Metodo della corrente di prova specificata: Gli standard Tyco 108-2013 e Tyco 2012 prescrivono questo metodo per la misura della resistenza di contatto.

Le misure possono essere effettuate con corrente continua o corrente alternata. Per le misure in corrente alternata, la frequenza non deve essere superiore a 2 kHz. In caso di controversia, valgono le misure effettuate in corrente continua. La precisione dell'apparecchio utilizzato per la misura deve essere tale che l'errore totale non superi il 10%. La resistenza di contatto deve essere ricavata dalla misura della caduta di tensione e della corrente (metodo volt-amperometrico).

Il circuito di misura deve avere una forza elettromotrice che non deve superare i 60 V (valore della tensione in corrente continua o valore di picco in corrente alternata), ma deve essere almeno 1 V. La corrente di prova deve essere 1 A per mm² di sezione trasversale del conduttore. Le misure devono essere effettuate sui contatti individuali entro il minuto susseguente all'applicazione della corrente di prova, per impedire il riscaldamento dei campioni.

Per le misure in corrente continua un ciclo di misura comporta: l'effettuazione del contatto, l'applicazione della tensione, la misura con la corrente circolante in un verso, la misura con la corrente circolante nel verso opposto, l'esclusione della sorgente di tensione e l'interruzione del contatto. Per le misure in corrente alternata un ciclo di misura comporta: l'effettuazione del contatto, l'applicazione della tensione, l'effettuazione della misura, l'esclusione della sorgente di tensione e l'interruzione del contatto.

Salvo indicazione contraria, i contatti già chiusi in una diversa prova non devono essere alterati né tra la fine di detta prova precedente e l'applicazione della tensione in questa prova, né tra successivi cicli di misura. Possono essere richiesti infatti più cicli di misura, i quali devono essere effettuati in successione immediata.

I valori della resistenza di contatto non devono superare valori prescritti dalle Normative Internazionali IEC 352, i quali saranno riportati successivamente. Questi valori sono gli stessi per entrambi i metodi di misura. La misura della resistenza di contatto in corrente continua è il valore medio delle due letture ottenute con la corrente circolante nei due versi. Qualsiasi deviazione dalla procedura di prova normalizzata dovrebbe essere chiaramente indicata nel rapporto di prova.

In **Figura 4.12** è indicata la configurazione di prova usata per misurare la resistenza di contatto di una connessione non accessibile a spostamento di isolante (*misura di resistenza a 4 terminali*).

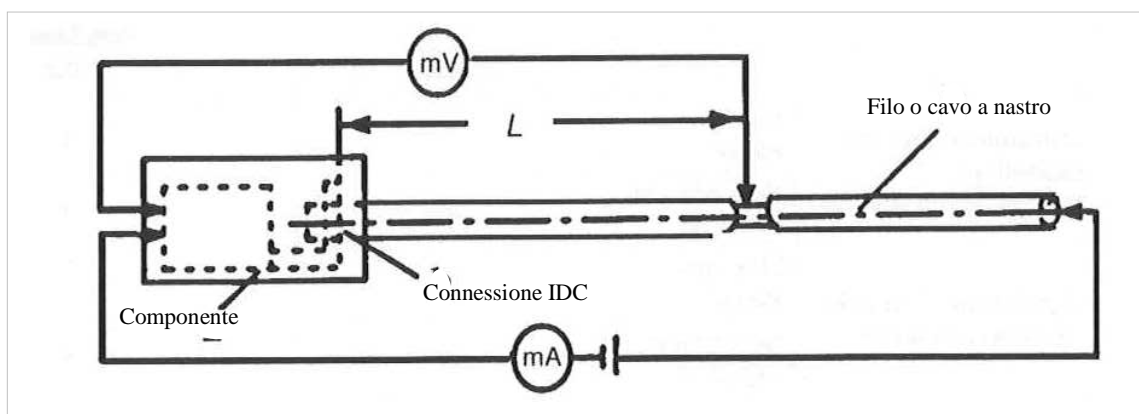


Figura 4.12 – Montaggio di prova per la resistenza di contatto (connessione IDC non accessibile).

Il piano di riferimento a cui si riferisce la lunghezza L deve sempre essere indicato nel rapporto di prova; questa lunghezza deve essere compresa tra 100 mm e 200 mm.

In **Tabella 4.5** sono riportati i valori massimi ammissibili per la resistenza di contatto, essi non comprendono però la resistenza dovuta alla lunghezza addizionale L del filo, come indicato nella configurazione di prova riportata in Figura 4.12. La resistenza addizionale deve sempre essere sottratta dal valore misurato.

Terminale IDC	Conduttore		Massima resistenza iniziale di contatto [mΩ]	Variazione massima di resistenza dopo il condizionamento [mΩ]
Placcato	Conduttore circolare monofilare	Placcato	5	1
		Non placcato	10	1
	Conduttore a treccia	Placcato	10	2
		Non placcato	10	5
Non placcato	Conduttore circolare monofilare	Placcato	10	1
		Non placcato	10	1
	Conduttore a treccia	Placcato	10	2
		Non placcato	10	5

Tabella 4.5 – Resistenza di contatto di connessioni IDC non accessibili (valori massimi consentiti).

In **Figura 4.13** è indicata la configurazione di prova usata per misurare la resistenza di contatto di una connessione accessibile a spostamento di isolante (misura di resistenza a 4 terminali). In **Tabella 4.6** sono invece riportati i valori massimi ammissibili per la resistenza di contatto misurata in una connessione IDC accessibile.

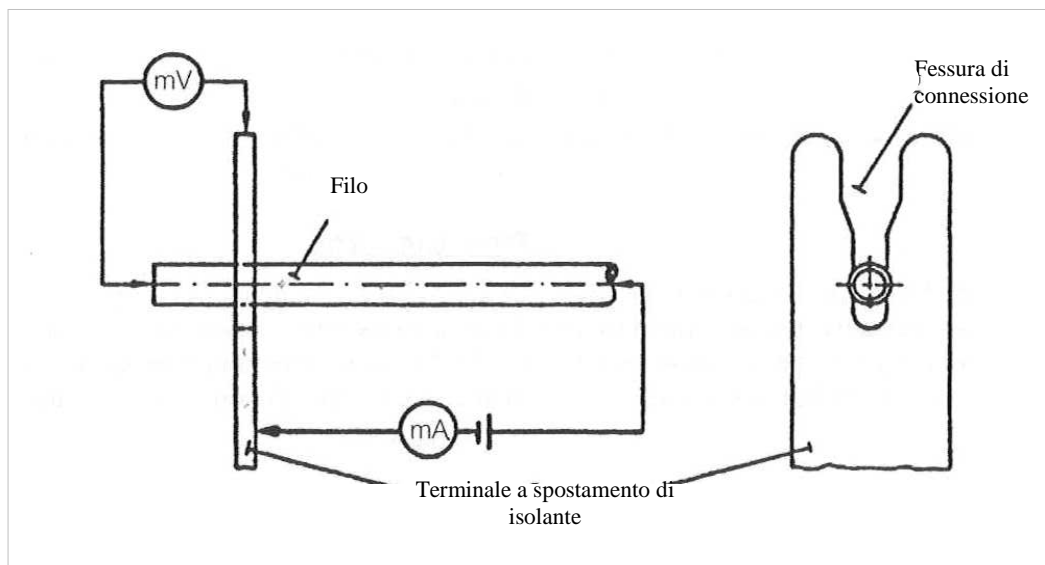


Figura 4.13 – Configurazione per la prova della resistenza di contatto (connessione IDC accessibile).

Terminale IDC	Conduttore		Massima resistenza iniziale di contatto [mΩ]	Variazione massima di resistenza dopo il condizionamento [mΩ]
Placcato	Conduttore circolare monofilare	Placcato	2	1
		Non placcato	5	1
	Conduttore a treccia	Placcato	2	2
		Non placcato	5	5
Non placcato	Conduttore circolare monofilare	Placcato	5	1
		Non placcato	5	1
	Conduttore a treccia	Placcato	5	2
		Non placcato	5	5

Tabella 4.6 – Resistenza di contatto di connessioni accessibili IDC (valori massimi ammissibili).

Sia per le connessioni IDC accessibili che non accessibili, la variazione massima di resistenza ammissibile deve essere sommata alla resistenza iniziale misurata e non al limite iniziale consentito, vale a dire che la massima resistenza ammissibile dopo il condizionamento meccanico, elettrico o climatico è uguale al valore misurato all’inizio più la variazione massima consentita, come indicato in Tabella 4.5 e Tabella 4.6. La variazione della resistenza di contatto va quindi misurata dopo lo svolgimento delle prove di condizionamento, che possono essere meccaniche, elettriche o climatiche. In questo modo si riesce a garantire l’affidabilità e la qualità della connessione in ambienti di lavoro anche molto diversi fra di loro.

4.5.3 Resistenza di isolamento e tensione di tenuta

La misura della *resistenza di isolamento*, per le connessioni a spostamento di isolante, è prevista, dalle Normative Internazionali, solamente dopo l'esecuzione di altre prove elettriche (ad esempio la prova di carico elettrico e temperatura). La Pubblicazione di riferimento è la *IEC 512-2-3* e l'esecuzione della prova deve seguire la *Prova 3a: Resistenza d'isolamento*. La misura della resistenza di isolamento è invece prescritta come standard dalla norma Tyco 108-20213.

Per la prova devono essere disposti degli elementi su di una piastra, collegandoli nel modo specificato di seguito. La resistenza di isolamento deve essere misurata in corrente continua, ad una tensione a circuito chiuso di 10 ± 1 V, di 100 ± 15 V o di 500 ± 50 V. Nello specifico, le norme definite dalla Tyco prevedono una tensione di prova pari a 500 V.

La resistenza di isolamento deve essere misurata soltanto quando viene raggiunta una lettura stabile dello strumento di misura (*megaohmetro*). Se una condizione stabile non viene raggiunta, si deve effettuare la lettura della resistenza di isolamento entro 60 ± 5 s dopo l'applicazione della tensione.

Secondo lo standard Tyco 108-20213 i terminali devono essere collegati tra di loro alternativamente, in modo da formare due gruppi separati metallicamente tra loro. La resistenza di isolamento deve essere misurata tra le parti in tensione collegate tra loro e la terra. La tensione di prova viene applicata tra il primo gruppo di terminali con il secondo gruppo collegato alla piastra di montaggio, e tra il secondo gruppo di terminali con il primo collegato alla piastra di montaggio. La resistenza viene quindi misurata sugli elementi e non deve essere inferiore a 10 M Ω . Nel caso di terminali disposti secondo due o più fila, sarà necessario formare una seconda disposizione di due gruppi, in maniera da misurare la resistenza di isolamento tra ciascuna coppia di terminali adiacenti.

Ci sono anche altri due metodi di applicazione della tensione:

- la resistenza di isolamento può essere misurata sugli elementi, con la tensione di prova applicata successivamente tra ciascun terminale e la piastra di montaggio, dopo aver collegato tutti gli altri terminali tra loro;
- la resistenza di isolamento può essere misurata tra due terminali adiacenti aventi la minima spaziatura, applicando la tensione di prova specificata.

Anche la misura della *tensione di tenuta* è prevista solamente dopo l'esecuzione di altre prove elettriche. La misura deve essere eseguita secondo la *Prova 4a: Tensione di tenuta* della Pubblicazione *IEC 512-2-4*. Lo scopo di questa prova è quello di determinare l'attitudine di un componente a sopportare le tensioni di prova specificate e applicate nella maniera specificata successivamente.

Deve essere applicata per 60 ± 5 s una tensione continua o alternata, usando la stessa configurazione di prova e gli stessi collegamenti definiti precedentemente per la misura della resistenza di isolamento. Se viene utilizzata una tensione di prova alternata, essa deve avere una frequenza compresa tra 45 Hz e 60 Hz e presentare una forma d'onda approssimativamente sinusoidale. La velocità di applicazione della tensione di prova non deve superare i 500 V/s.

Durante la prova non si deve manifestare alcuna scarica distruttiva o superficiale e non si deve superare il massimo valore ammissibile per la corrente di fuga quando viene applicata la tensione di prova.

Lo standard *Tyco 109-29-1* (per i connettori RAST) prescrive un valore di tensione di prova pari a 1750 V (continua o alternata) ma con un tempo di applicazione di 4 minuti. La prova viene superata se non avvengono scariche e se non vi è alcuna indicazione di danno che potrebbe interferire con le caratteristiche funzionali del componente.

4.5.4 Carico di corrente ciclico e sovraccarico elettrico

La prova di *carico di corrente ciclico* non è menzionata nella norma specifica IEC 352 dedicata alle connessioni IDC, tuttavia tutti gli Enti di Certificazione la prevedono nei loro standard industriali. Questa prova è descritta nella Normativa Internazionale IEC 61210 e risulta fondamentale per il collaudo delle connessioni aggraffate. In questo paragrafo verranno descritti solo alcuni metodi per eseguire la prova di carico di corrente ciclico, in quanto le prescrizioni normative ne definiscono più di uno.

La IEC 61210 ha lo scopo di definire un metodo normalizzato di prova atto a verificare che i terminali siano progettati e costruiti in maniera tale che nell'uso ordinario le loro prestazioni elettriche siano affidabili e non sia compromesso il loro uso ulteriore.

Le prove devono essere eseguite sui campioni così come vengono prodotti e in nessun caso le superfici di contatto devono essere pulite o preparate per la prova, se non è esplicitamente richiesto.

Le prove vengono eseguite su connessioni effettuate mediante attrezzature appropriate come nell'uso ordinario. Se non diversamente specificato, i campioni vanno provati così come sono e nella normale condizione di utilizzo, ad una temperatura di 20 ± 5 °C. Ogni prova deve essere effettuata utilizzando terminali connessi a conduttori delle sezioni più piccole e più grandi specificate dal costruttore.

Il circuito di prova è illustrato in **Figura 4.14**, secondo le condizioni definite per le connessioni aggraffate.

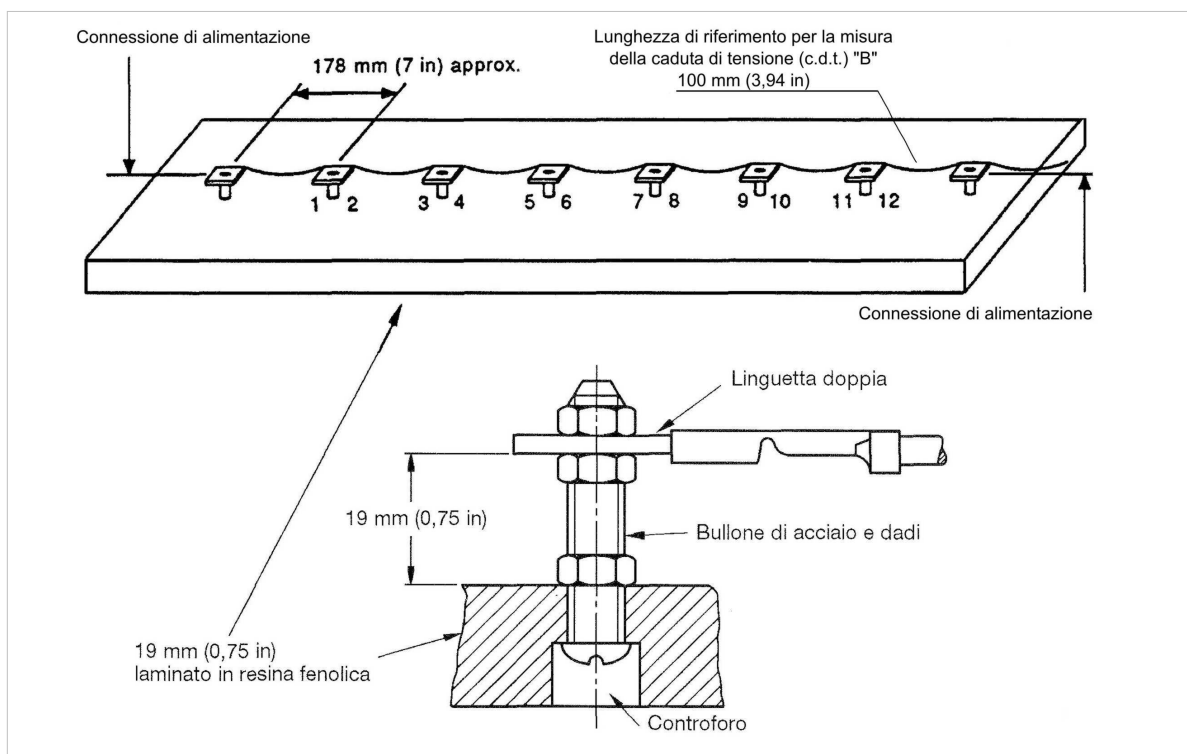


Figura 4.14 – Connessioni per la prova di carico di corrente ciclico (connessioni aggraffate).

I 12 campioni dovranno essere sottoposti a 500 cicli di prova. Ogni ciclo consiste in 45 minuti sotto carico di corrente e 15 minuti senza cavo. La **Tabella 4.7** indica i valori della corrente di prova per diversi valori della sezione del filo; per cavi in AWG si applicano i valori riportati nella norma *UL 310* (questa norma non è stata presa in considerazione).

Sezione cavo [mm²]	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0
Corrente di prova [A]	8	11	15	24	30	36	40

Tabella 4.7 – Corrente di prova per la prova di sovraccarico elettrico.

Ogni connessione deve essere dotata di opportuni dispositivi per rilevare la temperatura (*termocoppie*). Per ogni connessione va infatti rilevata la sovratemperatura ΔT_2 dopo il 24-esimo ciclo e la sovratemperatura ΔT_1 dopo il 500-esimo ciclo. Il valore di ΔT_2 non deve superare per più di 15 °C il valore ΔT_1 e nessuna delle due sovratemperature deve superare gli 85 °C.

Dopo la prova e prima di effettuare ulteriori misurazioni, il campione dovrà riacquisire le condizioni standard per un tempo di riassetamento non inferiore a 1 ora.

Lo standard *Tyco 109-51* definisce un metodo di prova identico a quello succitato. La differenza è quella di dover inserire il campione in una camera climatica per mantenere una temperatura massima sul punto più caldo di 115 °C quando l'elemento stesso è percorso da corrente. La temperatura della camera deve essere raggiunta entro 20 minuti dall'inizio di ogni ciclo e mantenuta per i restanti 45 minuti in cui viene iniettata la corrente. Al termine dei 500 cicli di prova l'elemento deve essere esente da qualsiasi tipo di rottura o altri danni che potrebbero interferire con i requisiti di efficienza meccanica ed elettrica previsti per l'uso dei connettori.

Le prove di carico di corrente ciclico appena descritte, fanno riferimento alle connessioni aggraffate, ma vengono considerate valide anche per le connessioni IDC di tipo RAST.

Per i connettori di tipo RS, INARCA ha apportato delle modifiche a questa prova riducendo il numero di cicli di prova a 480; con ciascun ciclo costituito da 15 minuti sotto carico e 15 minuti in assenza di carico. Durante la prova dovrà essere monitorata la resistenza di contatto: eseguendo una misura iniziale e, successivamente, un misura al termine del 96°, 192°, 384°, 480° ciclo di prova. Tutte le misure della resistenza di contatto, effettuate alla corrente specificata, devono rispettare i requisiti della

Tabella 4.8.

Sezione filo [AWG]	Ciclo di corrente			
	Rame		Alluminio	
	Resistenza [mΩ max]	Corrente di prova [A]	Resistenza [mΩ max]	Corrente di prova [A]
17	1,4	22,0	2,9	15,0
18	1,8	20,0	3,6	13,5
19	2,2	18,0	4,4	12,0
20	2,7	16,0	5,5	11,0
21	3,5	14,0	7,0	9,5
22	4,3	12,5	8,6	8,5
23	4,6	11,0	9,1	7,5
24	5,7	9,5	11,4	6,5
25	7,2	8,0	15,9	5,5
26	9,1	7,5	18,2	5,0
27	10,0	6,0	20,0	4,0
28	14,4	5,0	28,9	3,5
29	18,0	4,5		
30	23,0	3,5		

Tabella 4.8 – Valori per la prova di carico di corrente ciclico (connettori RS).

Oltre alla prova di carico elettrico ciclo, gli standard VDE prescrivono anche una prova di *sovraccarico elettrico*. Questa prova consiste semplicemente nel sottoporre i connettori, per un periodo non inferiore ai 45 minuti, ad una sovracorrente pari a 1,3 volte la corrente nominale. Al termine della prova ciascun connettore non deve presentare danni tali da pregiudicare i requisiti di prestazione necessari per il suo corretto funzionamento.

4.5.5 Carico elettrico e temperatura

La prova di *carico elettrico e temperatura* è identica sia per le connessioni IDC accessibili che per le connessioni IDC non accessibili. Questa prova deve essere effettuata in accordo con la *Prova 9b: Carico elettrico e temperatura* della Pubblicazione *IEC 512-5*. Lo scopo della prova è quello di definire un metodo normalizzato per valutare l'attitudine di un componente elettromeccanico a sopportare temperature elevate sotto carico elettrico.

L'elemento di prova deve essere munito di uno o più dispositivi sensibili alla temperatura (termocoppie), cablato e montato secondo il normale metodo di montaggio; si consiglia una disposizione del cablaggio orizzontale in modo da migliorare la riproducibilità della misura. L'elemento così preparato deve essere posto in una *camera climatica* la cui temperatura minima deve essere mantenuta al $70 \pm 5\%$ della massima temperatura di funzionamento. Successivamente, si applica la corrente all'elemento e la si aumenta lentamente fino ad avvicinarsi alla temperatura massima di funzionamento. Non si devono effettuare aumenti di corrente fino a che non si è raggiunto il regime termico. La temperatura massima di funzionamento o la corrente prescritta per l'elemento non devono essere superate in alcun caso durante gli aggiustamenti. Se l'incremento di temperatura dovuto alla massima corrente prescritta, passante attraverso l'elemento, non è sufficiente a fargli raggiungere la sua massima temperatura di funzionamento, la temperatura della camera deve essere aumentata fino a che non sia raggiunta la massima temperatura di funzionamento dell'elemento.

Nel caso in cui, nelle condizioni normali di prova, la temperatura massima di funzionamento dell'elemento viene superata del 5%, la prova deve essere abbandonata e considerata come fallita.

La prova deve essere eseguita alla massima temperatura di funzionamento, prescritta per il connettore da esaminare, per una specifica durata. I valori preferenziali per la durata delle prove sono: 250, 500, 1000 e 2000 ore; per quanto riguarda le connessioni a spostamento di isolante la durata deve essere di 1000 ore con una temperatura massima di funzionamento di $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. La corrente di prova deve ovviamente essere indicata nel rapporto finale.

Questa prova viene effettuata da INARCA con le condizioni di prova riportate in **Tabella 4.9**:

Temperatura di prova	100 °C
Temperatura camera	$70 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Durata della prova	1000 h (con 45 min. ON e 15 min. OFF)
Corrente di prova	Corrente continua

Tabella 4.9 – Carico elettrico e temperatura: condizioni di prova.

Alla fine del periodo di esposizione, si deve lasciare raffreddare l'elemento in condizioni atmosferiche normali (temperatura ambiente) per 1 o 2 ore. Dopo questo periodo di riassetto deve essere verificata la funzionalità del campione mediante le seguenti misure: resistenze di contatto, resistenza di isolamento, tensione di tenuta, esame a vista, verifica caratteristiche di funzionamento.

4.5.6 Prove di portata di corrente: curve corrente-temperatura (derating)

Le prove di *portata di corrente* sono considerate prove aggiuntive che si possono effettuare sulle connessioni elettriche a spostamento di isolante. Queste prove non sono considerate come obbligatorie dalle Normative Internazionali né dagli Enti di Certificazione Industriale, ma risultano molto utili per valutare le relazioni che intercorrono fra la corrente e la temperatura dei connettori IDC. Le prove di portata di corrente devono essere effettuate secondo la *Prova 5b: Curve corrente-temperatura (derating)*, della Pubblicazione IEC 512-5-2. Lo scopo di questa norma è quello di definire un metodo di prova normalizzato per verificare la portata di corrente dei componenti elettromeccanici a temperatura ambiente elevata (senza che questi subiscano danni). Come si evince dallo scopo, la descrizione della prova sarà relativa alle connessioni elettriche in generale e non tratterà in modo specifico le connessioni IDC.

La capacità di trasmissione di corrente di un componente è limitata dalle proprietà termiche dei materiali che compongono i contatti, i terminali ed anche i materiali isolanti degli involucri. Ogni materiale ha infatti una propria resistenza elettrica interna (dovuta alla struttura del materiale stesso), la quale genererà al passaggio della corrente, un riscaldamento del componente per *effetto Joule*. Pertanto la portata di corrente è una funzione del calore auto-generato e della temperatura ambiente alla quale un dispositivo opera. Ciò vuol dire che per ogni materiale viene fissata una temperatura limite di utilizzo T_{LIM} , superata la quale il componente potrebbe venire danneggiato.

Chiamando T_b la temperatura assoluta del componente (rilevata approssimativamente nel punto più caldo) e T_u la temperatura ambiente, è possibile ricavare la sovratemperatura ΔT che interessa il componente stesso, dalla relazione:

$$\Delta T = T_b - T_u \quad (4.8)$$

Attraverso tale riscaldamento ΔT ed il valore del limite massimo di temperatura dei materiali T_{LIM} , è possibile determinare la temperatura ambientale massima ammessa T_u per la corrente di carico I_n . Diventa perciò importante quantificare il riscaldamento del componente (auto-riscaldamento), poiché da esso possiamo ricavare l'intensità massima di corrente di utilizzo dello stesso. Tale intensità massima di corrente, è in ogni modo condizionata dalla sezione del filo in cui la corrente scorre e da una corrente limite teorica, di intensità tale da produrre un auto-riscaldamento pari alla temperatura limite del materiale (vedi **Tabella 4.10**).

Sezione cavo [mm ²]	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0
Limite massimo di portata di corrente [A]	8	10	12	16	20	26	34

Tabella 4.10 – Correnti massime per la prova di portata di corrente.

Per quanto riguarda l'esecuzione delle prove, è necessario realizzare un circuito costituito da almeno tre componenti in serie. Dato che la misura deve essere effettuata in aria il più possibile non disturbata, ogni campione deve essere montato in un involucro che protegga l'ambiente immediatamente circostante dai movimenti esterni di aria. L'involucro dovrebbe essere fatto di materiale non riflettente il calore. I lati dell'involucro possono essere asportabili per disporre campioni di dimensioni diverse. I lati non devono essere più vicini di 200 mm dai bordi del campione. L'involucro può anche avere un coperchio, in tal caso qualsiasi coperchio deve essere munito di aperture di ventilazione per minimizzare qualsiasi aumento della temperatura ambiente, causato dal riscaldamento del campione.

La disposizione del campione nell'involucro deve essere secondo un piano orizzontale, 50 mm sopra il fondo dell'involucro ed almeno 150 mm sotto la sommità ed equidistante dai lati. Per quanto possibile, il campione deve essere in sospensione libera. Se ciò non è possibile, si può utilizzare un materiale isolante termico con una conduttività (termica) ≤ 2 W/mK, a condizione che più del 20% della superficie del campione sia in contatto con il materiale isolante.

I campioni devono essere collegati con fili di sezione adatta per la corrente massima prevista o secondo la sezione delle terminazioni. Per ridurre al minimo la dissipazione di calore esterno, almeno la lunghezza dei fili di connessione, indicata in **Tabella 4.11**, deve essere all'interno dell'involucro di misura. Nel caso di campioni multipolari, tutti i contatti devono essere cablati in serie con il filo della stessa sezione dei fili di connessione. Questi collegamenti devono essere almeno il doppio della lunghezza minima specificata in Tabella 4.11.

Sezione del filo [mm ²]	Lunghezza minima [mm]
< 0,5	200
Da 0,5 a 5	500
> 5	1400

Tabella 4.11 – Lunghezza minima dei fili per ogni campione.

La Tabella 4.11 si basa sui criteri di conduzione termica ed è concepita per assicurare che i fili siano lunghi rispetto alla loro sezione.

Nel caso di campioni con contatti mobili, si deve prestare attenzione affinché i contatti non siano disturbati dai fili di connessione. Una serie di connettori accoppiati è considerata come un campione unico.

Le prove di portata di corrente prevedono ovviamente delle misure di temperatura. Se tali misure sono effettuate con delle sonde di temperatura, i conduttori delle sonde devono passare attraverso le pareti di isolamento dell'involucro. Sono permessi comunque altri metodi di misura della temperatura.

Il punto esatto per la misura della temperatura deve essere collocato su un piano orizzontale passante attraverso l'asse del campione. Esso deve essere posizionato 50 mm dal punto centrale del bordo del lato più lungo del campione. Si deve sempre prestare attenzione a proteggere la sonda dal calore radiante. Ovviamente il punto di misura deve essere il più vicino possibile alla parte più calda del campione.

Le sonde di temperatura possono essere termocoppie sottili, per esempio fili di nicromo-nichel con un diametro $\leq 0,3$ mm. Se si utilizzano termocoppie con lo stesso tipo di curva di taratura per entrambe le sonde di temperatura, esse possono essere collegate in opposizione l'una in rapporto all'altra nel circuito di misura. In questo caso, l'aumento di temperatura ΔT è misurato direttamente. Tuttavia, la temperatura T_b , dovrebbe essere controllata per assicurare che non superi il limite superiore di temperatura dei materiali.

Per la misura vera e propria, il campione deve essere disposto nell'involucro nel modo indicato precedentemente e i suoi morsetti vengono collegati ad un'alimentazione regolata attraverso un amperometro. La corrente di carico può essere alternata o continua. Quando si usa la corrente alternata, si applica il valore efficace; se invece si usa la corrente continua, si deve evitare l'influenza della tensione indotta sulla termocoppia eseguendo la prova con la corrente invertita. Il circuito di prova è illustrato in **Figura 4.15**.

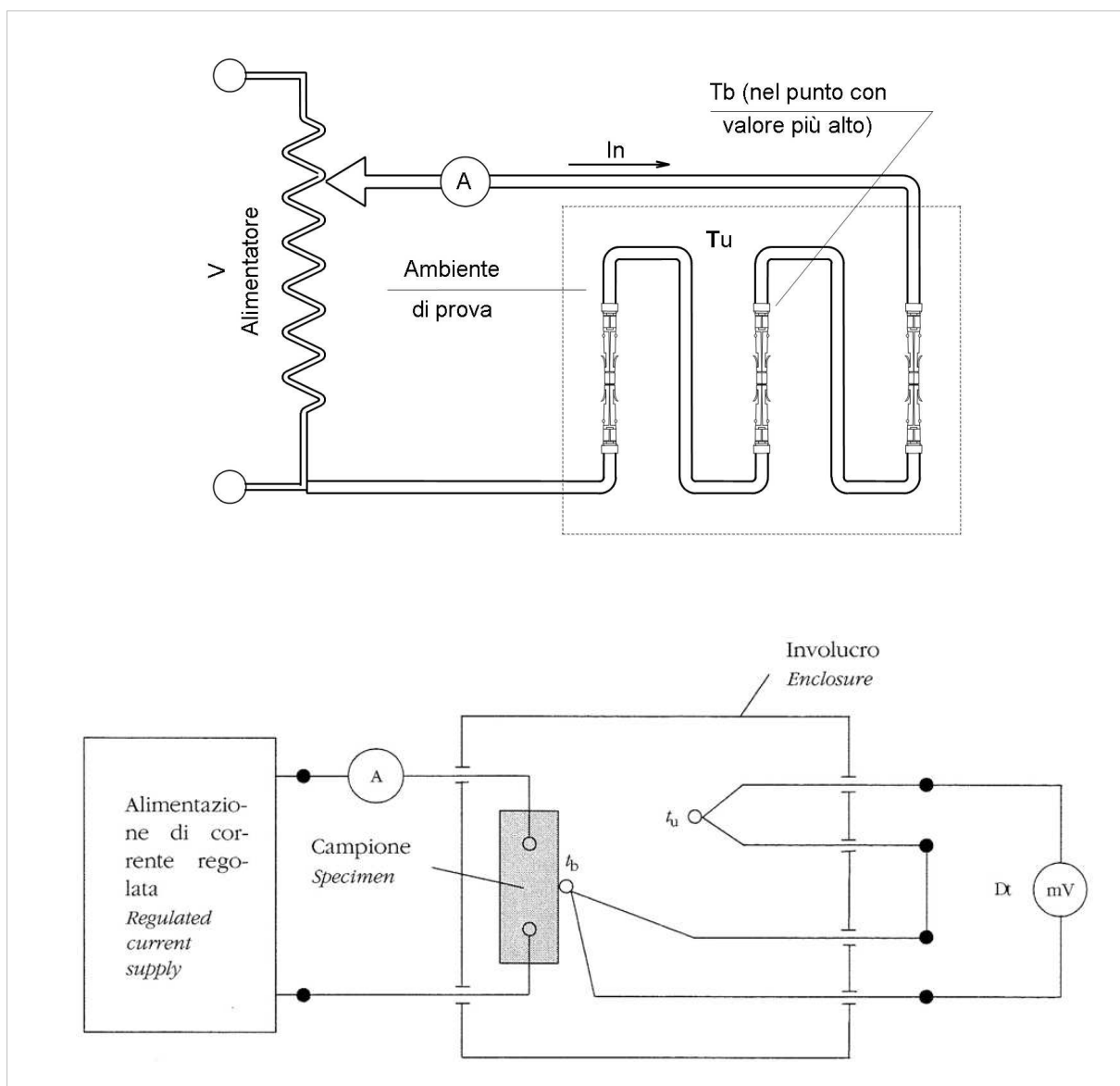


Figura 4.14 – Esempi di circuiti per la prova di portata di corrente.

Nel caso in cui non sia specificatamente richiesto si userà un connettore con il maggior numero di vie e per ogni connettore i componenti saranno cortocircuitati tra loro fino ad occupare tutte le vie. Si pratica un foro sul connettore per permettere di rilevare la temperatura T_b del componente nel punto più caldo della connessione (generalmente nella via centrale nel caso di connettore a più vie). Il campione viene così posto nella camera di misurazione o comunque in aria calma, e collegato al generatore.

In base alla sezione di filo usato si fanno scorrere, partendo dalla più bassa, almeno 4 diverse correnti di intensità inferiore a quella limite indicata in Tabella 4.10. La corrente deve essere mantenuta per circa 1 ora dopo aver raggiunto la stabilità termica a ciascuno dei livelli di corrente applicati. La stabilità si verifica quando tre valori consecutivi di aumento di temperatura, rilevati ad intervalli di 5 minuti, non differiscono per più di 2 °C l'uno dall'altro. Si rileva quindi la temperatura su ognuna delle tre connessioni T_b e la temperatura ambiente T_u nel punto di misura definito precedentemente.

Calcolata la media tra i valori di T_b e T_u rilevati si ricava l'auto-riscaldamento ΔT secondo la relazione 4.8. Questa operazione va poi ripetuta per ogni valore di corrente rimasto.

I valori che si ottengono permettono di tracciare la *curva di portata di corrente*. Tale curva mostra graficamente la relazione tra la corrente, l'aumento di temperatura e la temperatura ambiente del componente. L'aumento di temperatura si basa sulla corrente media dei tre campioni; infatti il valore medio ricavato dai valori misurati per i tre campioni serve come curva di base. In ogni caso, almeno tre punti della curva di base devono essere stabiliti. La curva di base della portata di corrente è mostrata in **Figura 4.16**:

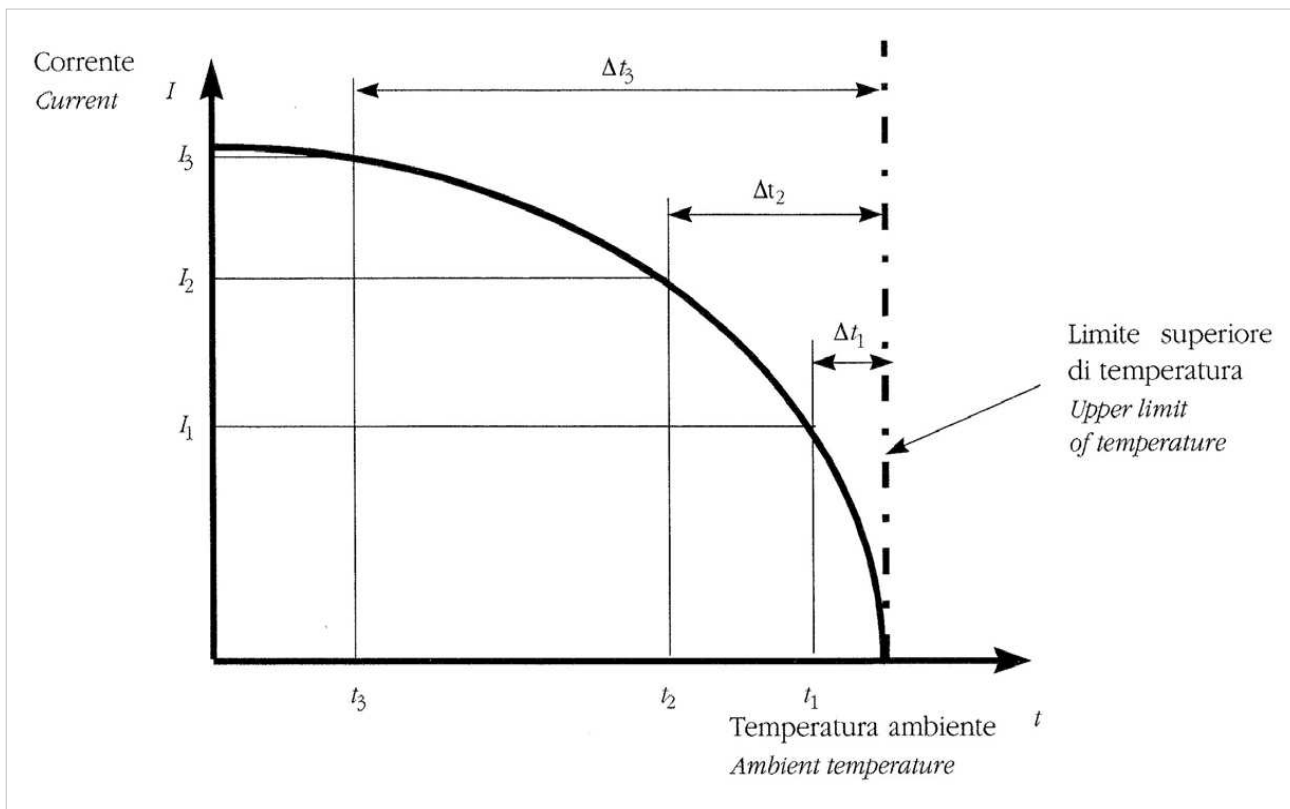


Figura 4.16 – Costruzione della curva di base della portata di corrente.

Il limite superiore di temperatura permesso dei materiali utilizzati è tracciato come una linea verticale sul diagramma di Figura 4.16, con la corrente I in ordinata e la temperatura t in ascissa. I punti che formano la curva base vengono rilevati facendo incontrare i valori di corrente I ed i relativi valori medi di sovratemperatura Δt individuati partendo dalla verticale T_{LIM} verso sinistra.

Al fine di tener conto degli errori introdotti dalle apparecchiature di misurazione della temperatura e delle variazioni nei campioni, si traccia una curva di correzione, nella quale i valori di corrente sono ridotti del 20%. La curva di correzione rappresenta la curva definitiva della corrente limite. Poiché essa non fornisce la corrente massima permessa in funzione della temperatura ambiente, essa rappresenta effettivamente la *curva di riduzione della portata (Derating Curve)* richiesta.

La curva di riduzione della portata viene ricavata dalla curva di base della portata di corrente. Facendo riferimento alla Figura 4.16, abbiamo che l'aumento di temperatura Δt (valore medio dei tre campioni), determinato dalla corrente I_n viene sottratto. Da ciò si ottiene la temperatura ambiente massima

ammessa t_u per la corrente di carico I_n , poiché la somma della temperatura ambiente e dell'aumento di temperatura Δt non deve superare il limite superiore di temperatura dei materiali. Una curva di riduzione della portata, ricavata dalla curva di base in Figura 4.16, è illustrata in **Figura 4.17**:

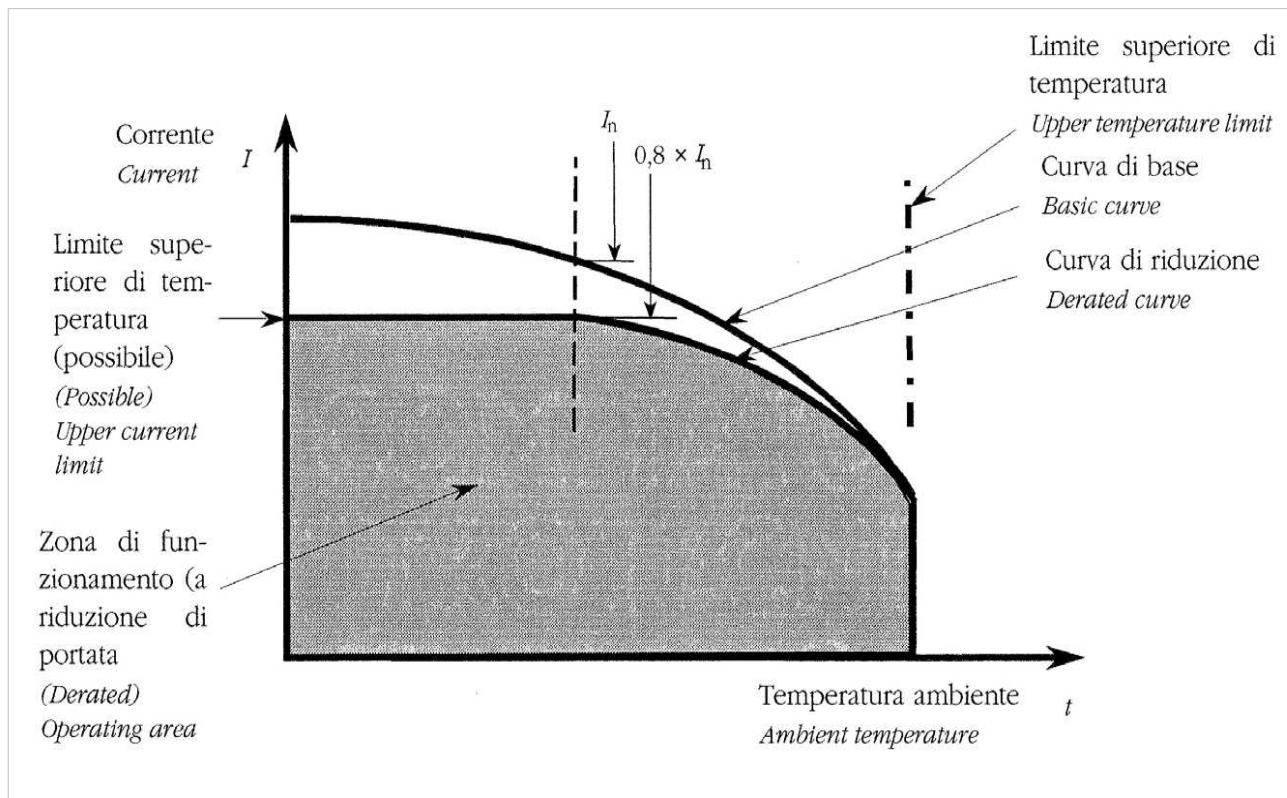


Figura 4.17 – Curva di riduzione della portata ricavata dalla curva di base.

La curva di riduzione della portata, illustrata in Figura 4.17, si ottiene applicando un fattore di riduzione pari a 0,8 sul valore di corrente della curva di base della portata di corrente, se non diversamente specificato in modo chiaro sulla curva di riduzione della potenza. Il fattore di riduzione è giustificato poiché la portata di corrente può essere ulteriormente limitata da fattori esterni, per esempio la sezione del filo e la distribuzione ineguale dei circuiti caricati. Se questi fattori danno luogo ad una portata di corrente diversa da quella che si può prevedere a causa delle limitazioni tecniche, si deve applicare un valore rivisto in sede sperimentale.

L'area ombreggiata, mostrata in Figura 4.17, indica il campo di funzionamento permesso. In corrispondenza del limite massimo di portata di corrente del cavo, si può tracciare una retta orizzontale che "chiude" la curva. Il rispettivo valore di corrente rappresenta l'intensità massima di corrente applicabile al nostro componente senza che questi subisca alcun danno.

Dalla Derating Curve è possibile ricavare la temperatura ambiente massima ammessa per la corrente di carico stabilita.

4.6 Prove climatiche

Oltre alle prove elettriche e meccaniche, risulta indispensabile effettuare sul campione anche una serie di *prove climatiche*. Tali prove sono in grado di garantire che la connessione IDC sia affidabile anche in ambienti di lavoro o in condizioni di trasporto e stoccaggio particolari. Come per le prove elettriche, anche per le prove climatiche è fondamentale conoscere la temperatura limite superiore (TLS) e la temperatura limite inferiore (TLI) di categoria climatica del connettore da testare (entrambe definite nel paragrafo 4.2.1). Le prove climatiche risultano le stesse sia che la connessione a spostamento di isolante sia accessibile che non accessibile.

4.6.1 Caldo umido ciclico

La prova di *caldo umido ciclico* deve essere effettuata secondo la *Prova 11m: Caldo umido ciclico*, della Pubblicazione *IEC 512-6-1* e conformemente alla *IEC 60068-2-30, Prova Db e guida: Caldo umido, ciclico (12 h + 12 h)*. Lo scopo di queste Normative Internazionali è quello di definire un metodo di prova normalizzato per valutare l'attitudine dei componenti ad essere immagazzinati o a funzionare in condizioni di alta umidità relativa e valutare gli effetti di tale umidità quando è combinata con variazioni significative di temperatura.

I campioni devono essere muniti dei loro normali accessori e montati secondo il normale metodo di montaggio. Nel rapporto di prova deve essere specificata la condizione del componente, per esempio se accoppiato o disaccoppiato.

Prima della prova i campioni devono essere sottoposti ad un periodo di preconditionamento di almeno 1 ora, in modo da garantire l'equilibrio termico degli elementi con l'ambiente.

Per l'esecuzione della prova è necessaria un'opportuna camera climatica in grado di regolare l'umidità al suo interno. L'acqua utilizzata per mantenere l'umidità della camera deve avere una resistività non inferiore a 500 mΩ. Si devono inoltre adottare delle precauzioni affinché l'acqua di condensa non possa gocciolare sull'oggetto in prova.

Prima del condizionamento vero e proprio i campioni devono superare un periodo di stabilizzazione; in questo periodo la temperatura iniziale della camera è di 25 ± 3 °C e va mantenuta finché i campioni non raggiungono e si stabilizzano a tale temperatura. Durante l'ultima ora, l'umidità relativa deve essere aumentata fino al 95%, con una temperatura della camera di 25 ± 3 °C (vedi **Figura 4.18**).

In seguito alla stabilizzazione iniziale si può dare inizio al ciclo di prova vero e proprio. In un tempo di $3 \text{ h} \pm 30 \text{ min.}$ si deve raggiungere la temperatura di prova T_C , che per le connessioni a spostamento di isolante è pari a 55 °C. Durante questo periodo l'umidità relative dell'aria non può scendere al di sotto del 95% (esclusi gli ultimi 15 min. in cui non può scendere al di sotto del 90%). Queste condizioni vanno mantenute dall'inizio del ciclo per $12 \pm 30 \text{ min.}$ entro i limiti prescritti (± 2 °C).

Per il successivo abbassamento della temperatura esistono due varianti:

- **Variante 1 (Figura 4.19):** In 3 o 6 ore si deve riportare la temperatura a 25 ± 3 °C, mantenendo l'umidità relativa dell'aria superiore al 95% (esclusi i primi 15 min. durante i quali può raggiungere il 90%). Nel primo periodo di 1 h e 30 min, la velocità di diminuzione della temperatura deve essere tale da permettere alla temperatura stessa di raggiungere i 25 ± 3 °C dopo $3 \text{ h} \pm 15 \text{ min.}$
- **Variante 2 (Figura 4.20):** In 3 o 6 ore si deve riportare la temperatura a 25 ± 3 °C, mantenendo l'umidità relativa dell'aria superiore all'80%. La temperatura viene poi mantenuta a 25 ± 3 °C fino alla fine del ciclo di 24 ore, con l'umidità dell'aria che non può scendere sotto al 95%.

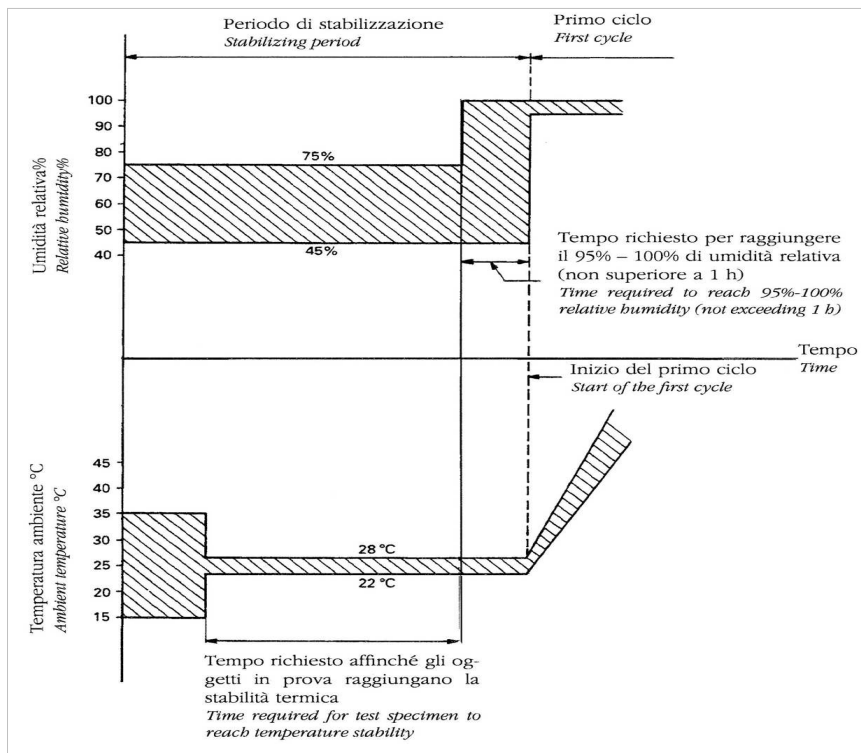


Figura 4.18 – Illustrazione del procedimento di stabilizzazione per la prova caldo umido ciclico.

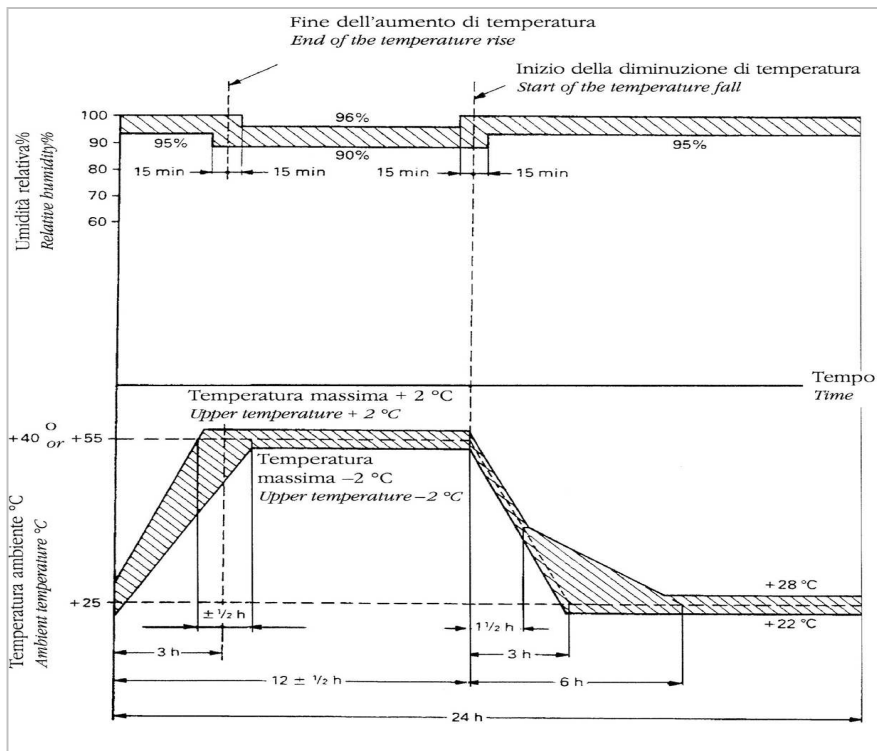


Figura 4.19 – Illustrazione del procedimento della Variante 1 per la prova caldo umido ciclico.

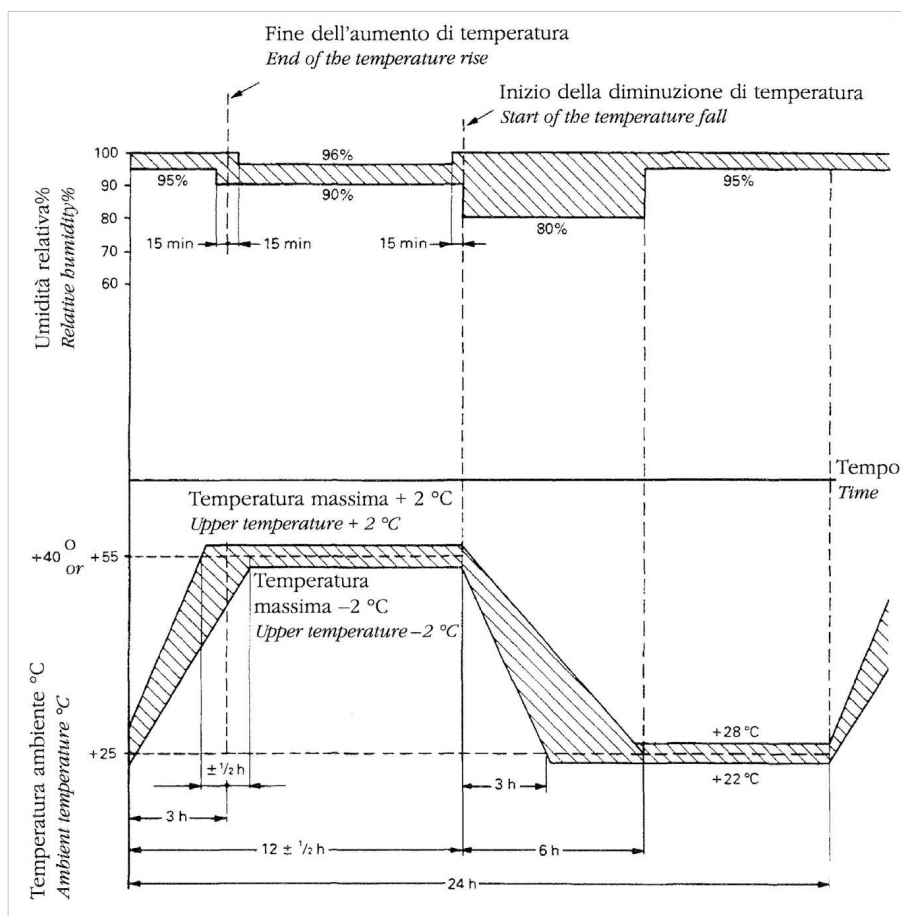


Figura 4.20 - Illustrazione del procedimento della Variante 2 per la prova caldo umido ciclico.

Al termine del periodo di condizionamento il campione viene posto a temperatura ambiente, per un tempo di ripristino non inferiore a 1 ora, fino al raggiungimento della medesima. I campioni devono infine essere sottoposti, immediatamente dopo il periodo di ripristino, alla misura della resistenza di isolamento e della tensione di tenuta. Dopo queste due prove viene misurata la resistenza di contatto con il metodo millivoltmetrico, la forza di inserzione e di estrazione con la cella dinamometrica ed infine viene effettuato un accurato esame visivo di ciascun elemento.

Le Normative Internazionali IEC 352 prescrivono che per le connessioni IDC i valori di prova da applicare nella prova di caldo umido ciclico sono:

- temperatura di prova T_C pari a +55 °C;
- numero di cicli pari a 6;
- abbassamento della temperatura utilizzando la Variante 2;

Oltre alla prova di caldo umido ciclico, lo standard *Tyco 109-43* prevede anche una prova di *caldo umido stabile*, la quale consiste nel lasciare i connettori per 10 giorni in una camera climatica impostata per una temperatura di 40 ± 2 °C e con umidità relativa pari al 93%. Al termine della prova l'elemento deve essere esente da qualsiasi tipo di rottura o altri danni che potrebbero interferire con le prestazioni meccaniche ed elettriche che devono essere garantite durante l'utilizzo.

In relazione a questa prova climatica, la specifica tecnica di INARCA *ST 0410*, dedicata ai connettori RS-MATE, prevede l'utilizzazione di parametri diversi rispetto a quelli definiti precedentemente; tali parametri sono riportati in **Tabella 4.12**, mentre il procedimento è illustrato in **Figura 4.21**.

Numero di cicli	10
Durata di un ciclo	24 h
Temperatura inferiore T_i	25 °C
Temperatura di prova T_C	65 °C
Umidità relativa HR	80 – 100%

Tabella 4.12 – Parametri di prova secondo ST 0410 per i connettori RS-MATE.

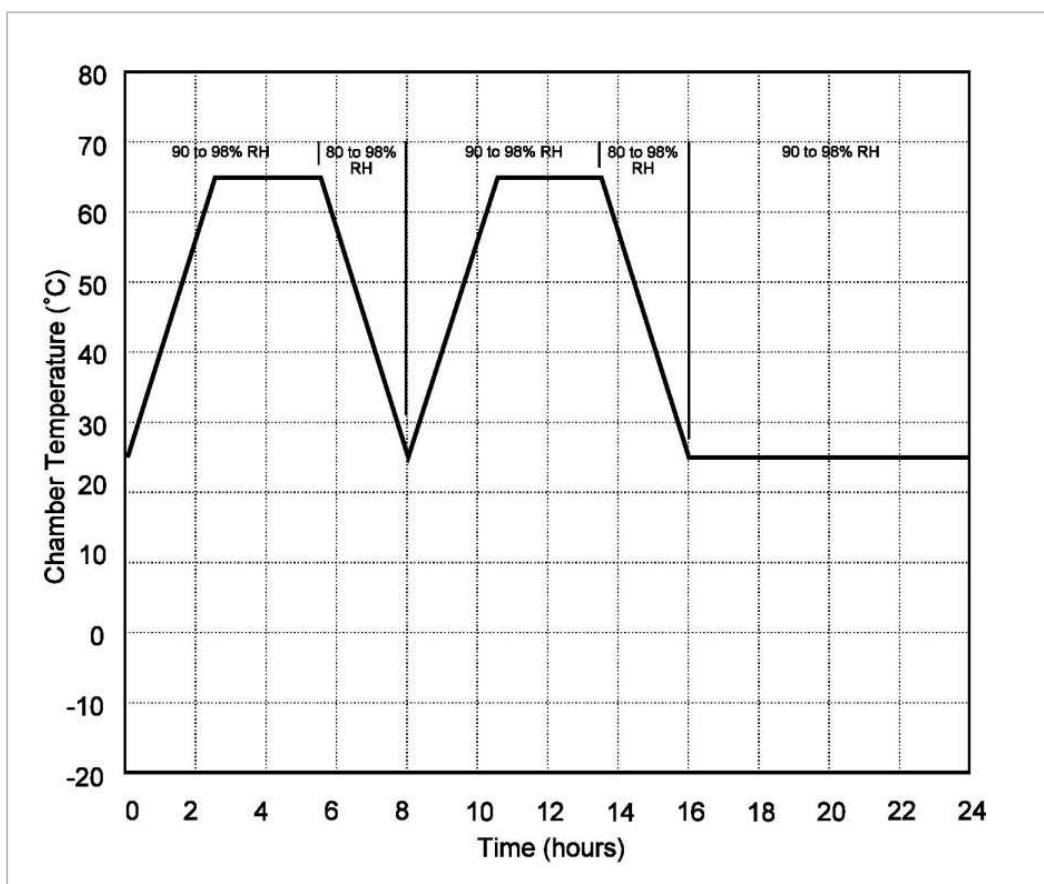


Figura 4.21 – Illustrazione di un ciclo di prova per il test di calore umido ciclico, secondo ST 0410 per i connettori RS- MATE.

Questa prova prevede la misura della resistenza di contatto iniziale e, successivamente, al termine del 2°, 5°, 8°, 10° ciclo di prova. Ovviamente nessuna evidenza di danno fisico nocivo all'utilizzo finale del prodotto deve risultare visibile alla fine della prova. Le misure della resistenza di contatto devono rispettare i requisiti riportati in **Tabella 4.13**.

Sezione filo [AWG]	Prova di vita in temperatura Caldo umido Cambi rapidi di temperatura	
	Rame	Alluminio
	Variazione massima della resistenza [mΩ]	
17	1,1	2,2
18	1,4	2,8
19	1,7	3,4
20	2,1	4,2
21	2,7	5,4
22	3,3	6,6
23	3,5	7,0
24	4,4	8,8
25	5,5	12,2
26	7,0	14,0
27	7,7	15,4
28	11,1	22,2
29	13,8	
30	17,7	

Tabella 4.13 – Valori della variazione di resistenza di contatto ammissibile nelle prove di caldo umido, cambi rapidi di temperatura e prova di vita in temperatura.

4.6.2 Sequenza climatica

Per le connessioni IDC la prova di *sequenza climatica* deve essere effettuata secondo la *Prova 11a: Sequenza climatica*, della Pubblicazione IEC 512-6-1. Lo scopo di questa norma IEC è quello di definire un metodo di prova normalizzato per valutare l'attitudine di un componente ad essere utilizzato o immagazzinato in definiti ambienti che può incontrare durante l'impiego usuale.

Per disporre di una sequenza di prove climatiche (destinata in primo luogo ai componenti), le prove di freddo, caldo secco, bassa pressione atmosferica (quando richiesto) e caldo umido (ciclico), vengono considerate reciprocamente dipendenti e la loro sequenza viene chiamata appunto "sequenza climatica". L'ordine nel quale tali prove devono essere eseguite, se non diversamente specificato, è il seguente:

- *caldo secco*;
- caldo umido, prova ciclica (1° ciclo);
- *freddo*;
- caldo umido, prova ciclica (ciclo o cicli rimanenti).

L'intervallo tra due qualsiasi prove deve essere non più lungo di 3 giorni, tranne che tra le prove di caldo umido (1° ciclo) e freddo, tra le quali l'intervallo non può superare le 2 ore, compreso il riassetto.

Di seguito verranno descritte le prove che compongono la sequenza climatica, in particolare le prove di caldo secco e di freddo. Non sarà presa in considerazione la prova di caldo umido ciclico, in quanto è stata descritta nel precedente paragrafo (4.6.1). I valori da considerare per la prova di caldo umido ciclico sono quelli riportati nella norma IEC 352 ($T_c = 55\text{ °C}$; numero cicli = 6; variante 2).

Caldo secco: la prova di *caldo secco* deve essere effettuata secondo la *Prova 11i: Caldo secco*, della Pubblicazione IEC 512-6-1 e conformemente alla *IEC 60068-2-2*:

- *Prova Ba:* Caldo secco per campioni che non dissipano calore con variazione improvvisa di temperatura, quando non richiesta alcuna misura durante la prova;
- *Prova Bb:* Caldo secco per campioni che non dissipano calore con variazione graduale di temperatura quando sono richieste misure durante la prova.

Lo scopo di queste Normative Internazionali è quello di definire un metodo di prova normalizzato per valutare l'attitudine dei componenti ad essere immagazzinati o a funzionare secondo modalità prescritte, in specifiche condizioni di caldo secco.

I campioni devono essere muniti dei loro normali accessori e montati secondo il normale metodo di montaggio. Nel rapporto di prova deve essere specificata la condizione del componente, per esempio se accoppiato o disaccoppiato.

Prima della prova i campioni devono essere sottoposti ad un periodo di preconditionamento di almeno 1 ora, in modo da garantire l'equilibrio termico degli elementi con l'ambiente.

La prova di caldo secco deve essere eseguita in una camera climatica. Il campione, che si trova a temperatura ambiente, viene posto all'interno della camera, la quale si trova alla temperatura T di 100 ± 2 °C (TLS) e ad una umidità assoluta dell'aria minore di 20 g/m^3 (corrispondente ad una umidità relativa del 50% alla temperatura di 35 °C). Quando il campione ha raggiunto e si è stabilizzato alla temperatura T , si mantengono le condizioni per un tempo t di 16 ore. Immediatamente dopo il condizionamento, quando il campione si trova ancora in una condizione di alta temperatura, si deve misurare la resistenza di isolamento. Al termine del periodo, il campione viene posto a temperatura ambiente, per un tempo non inferiore a 1 ora, fino al raggiungimento della medesima.

Dopo il periodo di riassetto i campioni devono essere sottoposti alle seguenti prove:

- resistenza di contatto (metodo millivoltmetrico);
- forze di inserzione e di estrazione, secondo la *IEC 512-2-1, Prova 2a*;
- esame visivo;
- carico statico assiale, secondo *IEC 512-5, Prova 8b*;
- ritenzione dell'inserito nella custodia (assiale), secondo *IEC 512-8, Prova 15b*;
- immersione, tenuta all'acqua, secondo *IEC 512-7, Prova 14d*.

E' fondamentale che dopo il condizionamento, il campione non venga maneggiato prima della misura della resistenza di contatto.

Freddo: la prova di *freddo* deve essere effettuata secondo la *Prova 11j: Freddo*, della Pubblicazione IEC 512-6-1 e conformemente alla *IEC 60068-2-1*:

- *Prova Aa:* Freddo per campioni che non dissipano calore con variazione improvvisa di temperatura quando non è richiesta alcuna misura durante la prova;
- *Prova Ab:* Freddo per campioni che non dissipano calore con variazione graduale di temperatura quando sono richieste misure durante la prova.

Lo scopo di queste Normative Internazionali è quello di definire un metodo di prova normalizzato per valutare l'attitudine dei componenti ad essere immagazzinati o a funzionare secondo modalità prescritte, in specifiche condizioni di freddo.

I campioni devono essere muniti dei loro normali accessori e montati secondo il normale metodo di montaggio. Nel rapporto di prova deve essere specificata la condizione del componente, per esempio se accoppiato o disaccoppiato.

Prima della prova i campioni devono essere sottoposti ad un periodo di preconditionamento di almeno 1 ora, in modo da garantire l'equilibrio termico degli elementi con l'ambiente.

La prova di freddo deve essere eseguita in una camera climatica. Il campione, che si trova a temperatura ambiente, viene posto all'interno della camera, la quale si trova alla temperatura T di -55 °C (TLI). Quando il campione ha raggiunto e si è stabilizzato alla temperatura T , si mantengono le condizioni per un tempo t di 2 ore. Al termine del periodo, il campione viene posto a temperatura ambiente, per un tempo non inferiore a 1 ora, fino al raggiungimento della medesima.

Dopo il periodo di riassetamento i campioni devono essere sottoposti alle seguenti prove:

- resistenza di contatto (metodo millivoltmetrico);
- forze di inserzione e di estrazione, secondo la IEC 512-2-1, Prova 2a (non definita);
- esame visivo;
- carico statico assiale, secondo IEC 512-5, Prova 8b (non definita);
- ritenzione dell'inserito nella custodia (assiale), secondo IEC 512-8, Prova 15b (non definita);
- immersione, tenuta all'acqua, secondo IEC 512-7, Prova 14d (non definita).

E' fondamentale che dopo il condizionamento, il campione non venga maneggiato prima della misura della resistenza di contatto. Al termine della prova non ci deve essere alcun segno di deterioramento del campione.

Dopo l'esecuzione della sequenza climatica completa, il campione deve essere sottoposto alle prove seguenti: misura della resistenza di isolamento, prova della tensione di tenuta, prove della resistenza di contatto, prove di funzionamento meccanico, prove di fissaggio dei cavi ed esame a vista finale. Le prime due prove elencate devono essere effettuate dopo il periodo di riassetamento finale. Inoltre dopo le prove, il campione non deve essere toccato fino alla misura della resistenza di contatto.

4.6.3 Cambi rapidi di temperatura

La prova dei *cambi rapidi di temperatura* deve essere effettuata secondo la *Prova 11d: Cambi rapidi di temperatura*, della Pubblicazione IEC 512-6-1 e secondo la *Prova Na: Cambi rapidi di temperatura con tempo di trasferimento prestabilito*, della IEC 60068-2-14. Lo scopo di queste Normative Internazionali è quello di definire un metodo di prova normalizzato per valutare l'attitudine dei componenti a sopportare un cambiamento rapido della temperatura dell'aria, quale potrebbe presentarsi durante il magazzinaggio, il trasporto e l'uso.

I campioni devono essere muniti dei loro normali accessori e montati secondo il normale metodo di montaggio. Nel rapporto di prova deve essere specificata la condizione del componente, per esempio se accoppiato o disaccoppiato.

Per la prova devono essere utilizzate due camere separate, una per la bassa temperatura ed una per la temperatura elevata (*forno*). Tali camere devono essere sufficientemente vicine da permettere il trasferimento del componente in prova entro il tempo prestabilito. Le temperature di prova, T_A (bassa temperatura) e T_B (alta temperatura), devono essere scelte fra le temperature delle prove di "freddo" e "caldo secco".

La temperatura iniziale del campione è pari alla temperatura ambiente, il preconditionamento deve essere infatti di almeno 1 ora. Dopo aver garantito questa condizione il campione viene inserito nella camera predisposta alla temperatura T_A per un tempo t_1 (comprensivo del tempo di stabilizzazione della temperatura). L'umidità relativa dell'aria deve essere del $50 \pm 3\%$. Successivamente, in un tempo t_2 ($2 \text{ min.} \leq t_2 \leq 3 \text{ min.}$), il campione viene trasferito in un forno predisposto alla temperatura T_B per un tempo t_1 (comprensivo del tempo di stabilizzazione della temperatura). L'illustrazione di un ciclo di prova è riportata nel grafico di **Figura 4.22**.

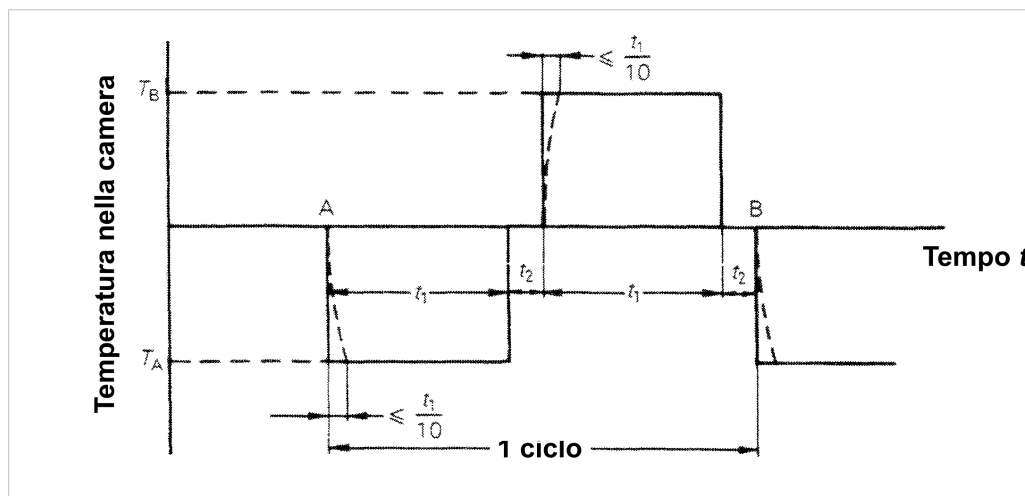


Figura 4.22 – Cicli di prova per il cambio rapido di temperatura (A:inizio primo ciclo; B:fine primo ciclo e inizio secondo).

Nel caso non sia possibile effettuare il trasferimento subito dopo il tempo t_1 , il campione in prova può rimanere in una delle due camere (è preferibile quella a bassa temperatura), per esempio durante la notte o il fine settimana.

Al termine dell'ultimo ciclo di prova, il componente deve rimanere in condizioni atmosferiche normali per un tempo necessario a raggiungere la stabilità della temperatura. Dopo questo periodo di riassetto, il campione non deve presentare nessun danno visibile e deve essere sottoposto alle prove di resistenza di isolamento, tensione di tenuta e ad un esame visivo finale.

Gli intervalli di tempo, i valori di temperatura ed il numero di cicli sono indicati in **Tabella 4.14**:

Bassa temperatura T_A	-55 °C (TLI)
Alta temperatura T_B	+100 °C (TLS)
Durata di esposizione t_I	30 min.
Numero di cicli	5

Tabella 4.14 – Valori di prova per i cambi rapidi di temperatura.

I valori riportati in Tabella 4.14 sono estrapolati dalla norma IEC 352, dedicata alle connessioni elettriche a spostamento di isolante.

Lo standard *Tyco 109-22*, che contiene lo stesso procedimento di prova, ammette dei valori diversi; infatti con la stessa durata di esposizione, sono previsti 10 cicli di prova con una temperatura T_A pari a -25 °C ed una temperatura T_B di 115 °C.

Le specifiche tecniche di prova INARCA, presentano invece valori diversi a seconda che il campione da testare sia un connettore RAST oppure un connettore RS (nello specifico si fa riferimento alla ST 0410 dedicata ai connettori RS-MATE). I valori di prova utilizzati da INARCA sono riportati in **Tabella 4.15**.

Dovrà essere sempre misurata la resistenza di contatto iniziale e finale dei connettori ed i risultati dovranno rispettare i limiti riportati precedentemente in Tabella 4.13.

	Connettori RAST	Connettori RS-MATE
Bassa temperatura T_A	-55 °C	-65 °C
Alta temperatura T_B	+125 °C	+125 °C
Durata di esposizione t_I	30 min.	30 min.
Numero di cicli	5	25

Tabella 4.15 – Valori di prova per i cambi di temperatura, secondo specifiche tecniche INARCA.

4.6.4 Corrosione in atmosfera industriale

La prova di *corrosione in atmosfera industriale* deve essere effettuata secondo la *Prova Ke (metodo C): Miscela di gas inquinanti*, della Pubblicazione IEC 68-2-60 TTD. E' doveroso ricordare però che questa prova sarà sostituita da un nuovo metodo quando sarà pubblicato dal SC 50B della IEC. Il Gruppo di Lavoro 5 del CT 48 ha intenzione di includere questo metodo di prova della corrosione nella *Prova 11g*, al fine di disporre di molteplici prove di corrosione in atmosfera industriale ad alta e bassa concentrazione di gas inquinanti.

Lo scopo di questa prova è definire un metodo di prova normalizzato per valutare la resistenza alla corrosione, di materiali o di prodotti, ad un'atmosfera contenente umidità condensata ed anidride solforosa. La prova di anidride solforosa, permette il rapido riconoscimento di difetti nei metodi di prevenzione della corrosione.

Per la prova è necessaria una camera particolare dove poter iniettare la miscela di gas inquinanti. Dopo aver preparato ed impostato l'apparecchiatura di prova si può avviare la sequenza di funzionamento, tale sequenza è caratterizzata dalle seguenti fasi:

- allagamento del vano prove con $2 \pm 0,2 \text{ dm}^3$ di acqua demineralizzata (con conducibilità $\leq 500 \mu\text{S/m}$);
- disporre i provini e chiudere ermeticamente la porta della camera;
- introdurre $0,2 \text{ dm}^3$ di anidride solforosa nella camera attraverso il tubo di immissione;
- tramite riscaldatore, portare la temperatura della camera fino a $40 \pm 3 \text{ °C}$ in circa 1 ora e 30 minuti, quindi mantenerla per la durata della prova.

Un ciclo di prova è di 24 h e può essere eseguito mediante l'esposizione continua dei provini, oppure mediante due fasi: la prima, di 8 ore, con esposizione all'interno della camera di prova, la seconda, di 16 ore, con esposizione a temperatura ambiente. In entrambi i casi, l'acqua nella camera e l'anidride solforosa nell'atmosfera devono essere sostituite prima dell'inizio di un nuovo ciclo di 24 ore. Per una prova con esposizione continua maggiore di 24 ore, l'operazione deve avvenire evitando di toccare i provini. Per condizioni ambientali si intende una temperatura di $23 \pm 5 \text{ °C}$ ed una umidità relativa minore del 75%.

Per l'esatta misurazione della quantità di anidride solforosa da immettersi si usa un *asometro* che viene posto sul lato destro dell'apparecchio.

I provini all'interno della camera di prova devono essere disposti in maniera tale che risulti: distanza tra i provini $\geq 20 \text{ mm}$, distanza tra i provini e le pareti o il soffitto camera $\geq 100 \text{ mm}$, distanza tra i bordi inferiori dei provini e la superficie dell'acqua nella camera $\geq 200 \text{ mm}$. Qualora non sia specificato, l'inclinazione di superfici piane rispetto alla verticale deve essere di $15 \pm 2^\circ$.

Poiché per ogni ciclo agisce sempre lo stesso quantitativo di anidride solforosa, il risultato dipende dalla grandezza e dal tipo di superficie dei campioni nel loro insieme. Per prove comparative è quindi indispensabile lavorare sempre con superfici complessivamente uguali e campioni dello stesso tipo.

Ove non esistessero accordi particolari, la superficie totale dei campioni appesi deve essere di $0,5 \pm 0,1$ m² per una camera di prova di 300 ± 10 dm³ di volume o proporzionalmente in più o in meno per una capacità differente della camera. Per campioni la cui superficie non sia determinabile, sono da prendersi accordi speciali.

Dopo il condizionamento è necessario eseguire la pulizia dei campioni. Infatti, dopo aver rimosso i provini dalla camera, si devono lasciare sospesi in condizioni di normale atmosfera interna, affinché tutti i prodotti liquidi della corrosione non si siano solidificati. Il tipo di pulizia dipenderà dal tipo di criterio scelto per la valutazione dei risultati di prova. A seconda dei requisiti richiesti, possono essere applicati diversi criteri di valutazione, nel nostro caso sono:

- aspetto dopo la prova;
- aspetto dopo rimozione dei prodotti di corrosione superficiali;
- numero e distribuzione dei difetti di corrosione;
- tempo trascorso prima dell'apparizione del primo segno di corrosione.

Prima e dopo la prova i campioni devono essere sottoposti alle prove definite nelle relative specifiche tecniche di prova del prodotto in esame.

Le Normative Internazionali IEC 352 dedicate alle connessioni elettriche a spostamento di isolante forniscono i dettagli riportati in **Tabella 4.16** per la prova di corrosione in atmosfera industriale.

Concentrazione di gas inquinanti	SO ₂ : $(0,5 \pm 0,1) * 10^{-6}$ (vol/vol) H ₂ S: $(0,1 \pm 0,02) * 10^{-6}$ (vol/vol)
Temperatura	(25 ± 2) °C
Umidità relativa HR	(75 ± 3) %
Durata di esposizione	10 giorni

Tabella 4.16 – Valori di prova da utilizzare per la prova di corrosione in atmosfera industriale.

4.6.5 Prova di corrosione in nebbia salina

Lo standard *Tyco 109-24* e le norme di omologazione VDE prescrivono anche la prova di *corrosione in nebbia salina*. Questa prova non è invece prevista dalle Normative Internazionali IEC 352 dedicate alle connessioni a spostamento di isolante. La prova di corrosione in nebbia salina è comunque contemplata nella norma *IEC 60068-2-11*.

Lo scopo della prova è definire un metodo di prova normalizzato per valutare gli effetti di un'atmosfera carica di sale sulla finitura di un componente. Questo prova descrive inoltre i reagenti ed il procedimento che devono essere utilizzati nel condurre e le prove in nebbia salina neutra (NSS), in modo da valutare la resistenza alla corrosione di materiali metallici con o senza protezioni anticorrosive di tipo temporaneo o permanente.

I campioni all'interno della cabina di prova devono essere disposti in modo che il getto della soluzione salina non le investa direttamente. La camera di prova deve essere costruita con materiale che non reagisca con la soluzione salina. Il nebulizzatore deve produrre una nebbia finemente suddivisa, umida e densa, e deve essere costruito con materiale che non reagisca con la soluzione salina stessa.

La superficie significativa delle provette deve essere rivolta verso l'alto ed in modo che rispetto alla verticale formi un angolo di circa 20° (e comunque compreso tra 15° e 30°).

La disposizione delle provette deve essere tale da non permettere il contatto tra loro o con parti della camera e da consentire il libero afflusso della nebbia salina sulle parti interessate. L'aria compressa per il nebulizzatore deve essere priva di impurità, quali polvere e olio. Secondo lo standard Tyco 109-24 la soluzione salina deve avere una concentrazione del 5% (NaCl).

La temperatura all'interno della camera deve essere di 35 ± 2 °C e le fluttuazioni della stessa, nel corso della prova, devono essere più contenute possibili. Durante la prova è importante evitare variazioni di pressione all'interno della cabina.

Dopo aver preparato ed impostato l'apparecchiatura di prova si può avviare la sequenza di funzionamento.

I tempi di esposizione sono definiti nella specifica tecnica dei singoli prodotti e sono generalmente sottomultipli o multipli di 24 h. Lo standard Tyco 109-24 indica un tempo di esposizione pari a 96 ore. La nebulizzazione della soluzione non deve mai essere interrotta durante la prova. L'apertura della camera di prova è permessa per brevi periodi per consentire l'esame visivo delle provette e per permettere il rifornimento della soluzione salina quando questo non può essere effettuato dall'esterno in modo continuo.

Anche al termine della prova di corrosione in nebbia salina è prevista la fase di pulitura delle provette.

Al termine della prova infatti i campioni devono essere lasciati asciugare per un periodo da 30 minuti a 1 ora. Di seguito è opportuno sciacquare gli stessi o immergerli in acqua corrente pulita a temperatura non maggiore di 35 °C, quindi farli essiccare con un getto di aria compressa.

A seconda dei requisiti richiesti, possono essere applicati numerosi criteri di applicazione; nel nostro caso questi ultimi sono due:

- aspetto dopo la prova;
- aspetto dopo rimozione dei prodotti di corrosione superficiali.

Dopo la prova sui campioni non devono apparire focolai di ossido; sono tollerate sugli spigoli tracce di ossido purchè asportabili, per sfregamento, con un panno asciutto.

Prima e dopo la prova i campioni devono essere sottoposti alle prove definite nelle relative specifiche.

4.6.6 Prove di vita in temperatura e di aumento di temperatura

La prova di *vita in temperatura* è definita dalla specifica tecnica ST 0410 di INARCA, dedicata ai connettori RS-MATE. Questa prova è prescritta anche dallo standard *Tyco 109-43*.

Per l'esecuzione della prova si devono connettere in serie 10 terminali con conduttore della sezione minima e 10 con conduttore di sezione massima. Il circuito di prova completo dovrà essere posizionato all'interno di una camera climatica, nella quale non vi dovrà essere restrizione alla circolazione di aria. La temperatura di prova dovrà essere di 118 °C ed il numero di giorni di prova sarà 33. Dovrà essere misurata la resistenza di contatto iniziale e, successivamente, al termine del 2°, 4°, 8°, 16° e 33° ciclo di prova. Alla fine della prova seguirà un periodo di riassetto di almeno 1 ora.

Dopo il periodo di riassetto, nessuna evidenza di danno fisico rilevante deve risultare visibile. Le misure della resistenza di contatto devono rispettare i requisiti riportati precedentemente in Tabella 4.13.

La prova di *aumento di temperatura* viene prescritta solamente dalle norme VDE e dallo standard *UL 1977*. In questo caso, i connettori in prova devono subire un preconditionamento di 1 giorno alla temperatura ambiente (≈ 23 °C) con un'umidità relativa del 50%. Dopo questo periodo, i connettori devono essere alimentati per un tempo di 8 ore alla massima corrente consentita, in relazione alla sezione del filo inserito nel terminale IDC. La prova si intende superata se, a regime termico raggiunto, la temperatura rilevata rispetta i valori riportati in **Tabella 4.17**.

Corrente massima	Massimo aumento di temperatura consentito
3 A	$\leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
6 A	$\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
10 A	$\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
16 A	$\leq 45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabella 4.17 – Valori limite per la prova di aumento di temperatura.

Ovviamente al termine della prova ogni elemento deve essere esente da qualsiasi tipo di rottura o altri danni che potrebbero interferire con le prestazioni meccaniche ed elettriche che devono essere garantite durante l'utilizzo.

4.7 Prove su componenti in materiale plastico

Come già accennato nel primo capitolo, INARCA si occupa anche della produzione degli involucri in materiale plastico per le connessioni elettriche a spostamento di isolante (gli involucri possono essere chiamati anche “connettori”). Ovviamente dovranno essere effettuate delle prove specifiche per valutare l'affidabilità di questi componenti in materiale plastico.

Di seguito verranno descritte le modalità di prova relative a questi componenti, secondo la specifica tecnica INARCA *ST 0003*. In ogni caso, questa specifica deriva dall'analisi di una serie di Normative Internazionali dedicate.

Qualora un particolare da omologare sia fornito con tipi di materiale diversi, deve essere eseguita una prima prova su tutti i materiali. Le prove di tipo vengono quindi eseguite sul connettore che presenta i risultati di prova più critici.

4.7.1 Prove meccaniche sui connettori in materiale plastico

Le prove meccaniche da eseguire sui componenti in materiale plastico sono molto simili a quelle già viste per i terminali IDC metallici, la strumentazione di prova risulta infatti la stessa.

Forza di inserimento del terminale nel connettore: Lo scopo della prova è quello di valutare le forze richieste per inserire i terminali nella loro posizione normale entro un componente.

Nella fase di omologazione dei particolari in plastica, deve essere prelevato un campione di connettore per ogni impronta dello stampo. Tutti i terminali di prova vanno aggraffati con cavo come nelle normali condizioni di utilizzo.

La prova si esegue inserendo il terminale con una velocità di 25 mm/min., mantenendo l'allineamento assiale nella sede della capsula corrispondente e rilevando la forza di inserzione mediante dinamometro o cella di carico. Vanno provate tutte le vie di ogni particolare in plastica. In ogni caso, il numero di misure effettuate non deve essere inferiore a 10.

Forza di estrazione del terminale dal connettore: Lo scopo della prova è quello di valutare le forze richieste per inserire i terminali nella loro posizione normale entro un componente. Deve essere prelevato un campione di connettore per ogni impronta dello stampo. Tutti i terminali di prova vanno aggraffati con cavo.

La prova si esegue dopo aver inserito il terminale aggraffato al cavo, nella sede della capsula

corrispondente e trazionando assialmente il cavo con una velocità di 25 mm/min., utilizzando l'apposita attrezzatura (cella dinamometrica). Vanno provate tutte le vie di ogni particolare in plastica ed il numero di misure effettuate non deve essere inferiore a 10.

Per le Prove di Tipo, in fase di omologazione, la forza di estrazione minima deve essere garantita anche dopo che le capsule sono state condizionate con i seguenti cicli:

- 12 ore alla temperatura minima prevista per il tipo di materiale;
- 12 ore alla temperatura massima prevista per il tipo di materiale;
- 12 ore alla temperatura di 23 ± 2 °C e umidità relativa del 93 ± 2 %.

Al termine del condizionamento e delle prova di estrazione non ci deve essere nessuna deformazione o incrinatura; è ammessa però una variazione della tonalità del colore.

In **Tabella 4.18** sono mostrate le temperature limite relative ai principali componenti in materiale plastico prodotti da INARCA. Questi valori sono fondamentali per eseguire i cicli di condizionamento succitati.

Codice materia prima		Qualità	Classe Infiammabilità	Temperature limite	
Cod. da 001 a 340	Cod. da 341 in poi			Minima	Massima
0851...	51...	PE		-50 °C	95 °C
0854...	54...	PA 6	UL 94 V-2	-40 °C	125 °C
0854...	54...	PA 66	UL 94 V-2	-40 °C	125 °C
0854...	54...	PA 66 Rinforzato	UL 94 V-2	-40 °C	125 °C
0854...	54...	PA 66/6	UL 94 V-2	-40 °C	125 °C
0856...	56...	PBT	UL 94 V-0	-50 °C	120 °C
0856...	56...	PBT Rinforzato	UL 94 V-0	-50 °C	200 °C
0857...	57...	PC	UL 94 V-0	-70 °C	130 °C
0857...	57...	PC Rinforzato	UL 94 V-0	-70 °C	145 °C
0858...	58...	PBT	UL 94 V-HB		
0859...	59...	PBT	UL 94 V-2		

Tabella 4.18 – Temperature limite di prova per i componenti in materiale plastico.

4.7.2 Prove elettriche e ambientali sui connettori in materiale plastico

La specifica tecnica INARCA ST 0003, dedicata ai componenti in materiale plastico, prescrive anche delle prove elettriche, quali la *resistenza alle correnti superficiali* e la *rigidità dielettrica*. Per quanto riguarda le prove ambientali, è prevista la prova di *resistenza all'umidità*. Questi test saranno descritti dettagliatamente in questo paragrafo.

Resistenza alle correnti superficiali (tracking resistance): Questa prova concorda parzialmente con la norma *CEI 15-18 (IEC 112)* e la *CEI EN 60335-1*. Per capire come eseguire la prova di resistenza alle correnti superficiali è necessario tener presente le seguenti definizioni:

- *traccia*: formazione progressiva di percorsi conduttori prodotti sulla superficie di un materiale isolante solido per l'effetto combinato di sollecitazioni elettriche e contaminazione elettrolitica della superficie;

- *erosione elettrica*: consumo parziale di materiale isolante sotto l'azione di scariche elettriche;
- *indice di resistenza alla traccia (CTI)*: valore numerico della tensione di prova prescritta, espressa in Volt, in corrispondenza della quale un materiale sopporta 50 gocce senza formazione di traccia;
- *indice di tenuta alla traccia (PTI)*: valore numerico della massima tensione di prova, espressa in Volt, in corrispondenza della quale un materiale sopporta 50 gocce senza formazione di traccia.

La prova necessita una preparazione accurata dei campioni. Può essere utilizzata ogni parte piana del provino purché di dimensioni tali da non permettere al liquido di scorrere sui bordi dello stesso. Sono raccomandate superfici piane di dimensioni non inferiori a 15×15 mm. In alcuni casi, per ottenere una superficie piana, è necessario eseguire operazioni di “molatura”, tale operazione deve essere riportata nel rapporto di prova. Sempre nel rapporto di prova deve essere indicato anche quando la superficie del provino è rigata. Le rigature aumentano la dispersione dei risultati di prova ed è per questo che, quando possibile, la prova va eseguita in zone esenti da rigature. I valori di prova ottenuti su provini con spessore minore di 3 mm, possono essere influenzati dalla natura del supporto, che potrebbe asportare rapidamente calore e modificare il CTI. In tali casi è quindi necessario sovrapporre due o più provini.

L'apparecchiatura di prova è costituita essenzialmente dagli elettrodi di platino, i quali permettono di applicare la tensione desiderata al componente da testare. Gli elettrodi devono avere le dimensioni riportate in **Figura 4.23** e ognuno di essi deve premere sulla superficie di prova con una forza di $1 \pm 0,05$ N. Lo spigolo arrotondato (vedi Figura 4.23) degli elettrodi, deve inoltre essere a contatto per tutta la sua lunghezza con la superficie di prova.

Se non diversamente specificato, gli elettrodi vengono alimentati ad una tensione di 250 V. Successivamente l'applicazione della tensione di prova, tra gli elettrodi si lasciano cadere gocce di una soluzione di prova. L'intervallo di tempo tra la caduta di una goccia e quella della successiva deve essere di 30 ± 5 s. La soluzione di prova è il cloruro di ammonio, indicato con NH_4Cl ($0,1 \pm 0,002$ % in peso di NH_4Cl in acqua distillata o deionizzata), avente una resistività di massa di $400 \Omega\text{cm}$ a 25°C ed un volume di $20 (+5; -0) \text{mm}^3$.

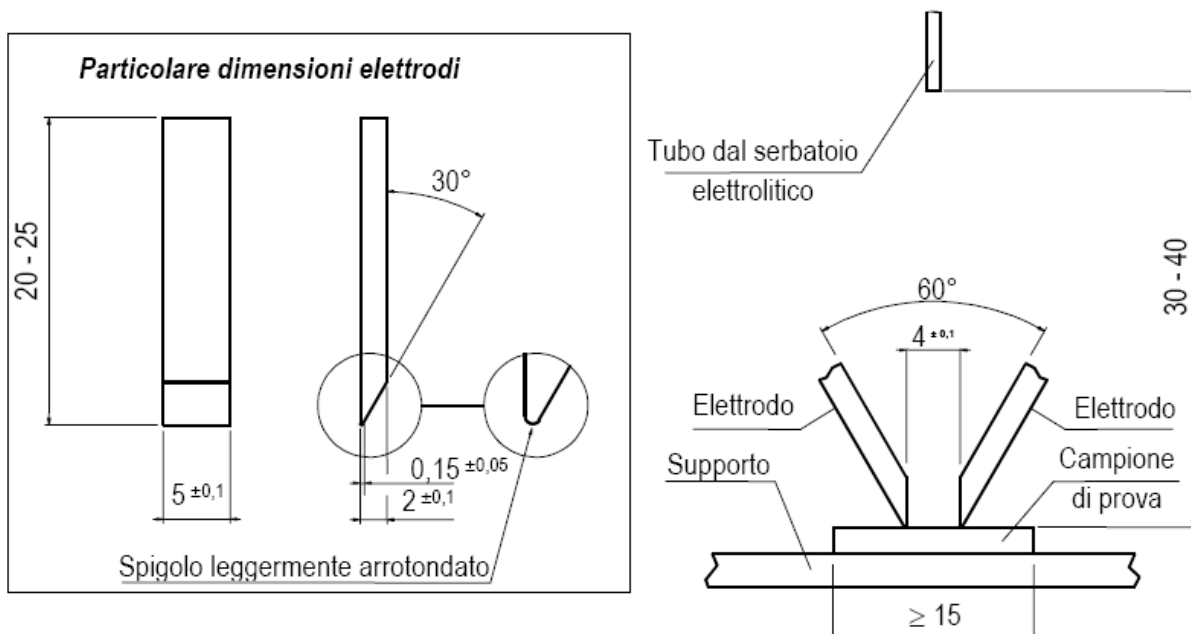


Figura 4.23 – Posizionamento elettrodi per la prova di resistenza alle correnti superficiali.

La prova deve essere eseguita con il provino a riparo da correnti d'aria e ad una temperatura di 23 ± 5 °C. Il provino va sistemato sul supporto (di vetro o metallo) in modo che la superficie da provare sia orizzontale e che gli elettrodi premano sulla stessa con la forza prescritta. I bordi degli elettrodi, se erosi, devono essere riaffilati.

La tensione applicabile deve avere un valore divisibile per 25 (nel nostro caso si è scelto 250 V); la resistenza del circuito è regolata in modo che la corrente del circuito sia nei limiti di tolleranza voluti.

Le gocce vanno lasciate cadere finché si produce un cedimento sotto forma di traccia oppure dopo la caduta di 50 gocce. Si considera avvenuto un cedimento, quando una corrente uguale o superiore a 0,5 A circola per almeno 2 s lungo un percorso conduttore formatosi sulla superficie del provino tra gli elettrodi, oppure se il provino si brucia.

La prova si effettua su tre punti distinti del campione sufficientemente distanziati (gli spruzzi provenienti da un punto di prova non devono contaminare le altre zone da provare) o, in mancanza di spazio, su tre campioni distinti. Se il supporto è metallico, collegandolo al circuito di prova si può indicare quando, per erosione, si produce la perforazione del provino.

Lo scopo della prova di resistenza alle correnti superficiali è quello di determinare la tenuta alla traccia e l'erosione dei campioni. Per quanto riguarda la tenuta, non devono prodursi scariche superficiali o perforazioni del materiale tra gli elettrodi prima che siano cadute 50 gocce. Per le Prove di Tipo i test si effettuano su 5 punti (campioni) diversi.

L'erosione va misurata invece sui provini che sopportano 50 gocce alla tensione specificata. I provini sui quali non si è verificata formazione di traccia devono essere puliti e sistemati su di un misuratore di profondità. La massima profondità di erosione di ciascun provino deve essere rilevata con una precisione di 0,1 mm, utilizzando un tastatore del diametro di 1 mm avente estremità emisferica. Il valore massimo dei 5 punti misurati deve essere riportato nel rapporto di prova.

Rigidità dielettrica: Questa prova concorda parzialmente con la norma *EN 60335*. Per la prova della rigidità dielettrica devono essere preparati due tipi di campioni (connettori):

- il primo deve avere due terminali inseriti su due cavità contigue;
- il secondo deve avere tutti i terminali inseriti nelle cavità e messi in corto circuito tra loro. Sulla superficie esterna del connettore deve essere inoltre avvolto un foglio di carta stagnola che fungerà da massa.

Se non diversamente specificato, il connettore di prova deve sopportare per un minuto l'applicazione di una tensione efficace di 3750 V a 50 Hz tra le seguenti parti:

- tra due vie contigue del connettore;
- tra i terminali messi in corto circuito e la massa.

Inizialmente la tensione applicata non deve superare la metà del valore prescritto; essa viene poi portata rapidamente al massimo valore. Durante la prova non devono verificarsi né scariche superficiali, né scariche disruptive. Piccole scariche che non provocano caduta di tensione rilevabile sullo strumento, non sono prese in considerazione.

Resistenza all'umidità: Questa prova concorda parzialmente con la norma *EN 60335*. Per la preparazione dei campioni, è necessario inserire nei connettori i relativi terminali aggraffati al corrispondente cavo. Successivamente, si stabilizzano per quattro ore i campioni ad una temperatura di 23 ± 5 °C. Si sottopongono quindi i connettori al trattamento igroscopico in camera climatica, regolata alla temperatura di 23 ± 2 °C e contenente aria con umidità relativa del 93 ± 2 %, per la durata di 48 ore. Immediatamente dopo il trattamento igroscopico va eseguita la prova della rigidità dielettrica citata precedentemente.

4.7.3 Prove di infiammabilità

Le prove di infiammabilità sono fondamentali per i componenti in materiale plastico. La specifica tecnica INARCA ST 0003 indica sostanzialmente due test da effettuare: la prova di *resistenza al filo incandescente* e la *prova di fiamma con ago*. Entrambe le prove saranno trattate di seguito.

Resistenza al filo incandescente: Questa prova concorda con la norma *CEI EN 60695-2-1* e la *CEI EN 60335-1 Allegato K*. Le parti in materiale plastico che tengono a posto parti sotto tensione, possono, in condizioni di guasto o sovraccarico, raggiungere una temperatura tale da essere influenzate in modo eccessivo od in modo tale da incendiare parti ad esse vicine. La prova del filo incandescente simula le sollecitazioni termiche che possono essere prodotte da tali sorgenti di calore o dalla presenza accidentale di una qualsiasi sorgente di accensione. La prova viene eseguita per verificare:

- che una spira specificata di filo resistivo, riscaldata elettricamente alla temperatura specificata per il relativo prodotto, non provochi in condizioni definite, accensioni di parti;
- che una parte, che potrebbe essere accesa dal filo di prova riscaldato elettricamente in condizioni definite, brucia per una durata o per una estensione limitata, senza diffondere il fuoco mediante fiamme o particelle accese o incandescenti che cadono dall'esemplare.

La prova può non essere adatta per piccoli componenti (dimensioni lineari inferiori a 20 mm), per i quali saranno necessari altri tipi di prove.

La prova di resistenza al filo incandescente viene effettuata su connettori privi di terminali, salvo i casi in cui il particolare in plastica viene commercializzato con il terminale in lamiera premontato (ad esempio le connessioni IDC RAST 2,5).

L'apparecchiatura necessaria per la prova è composta anche dal filo incandescente e dalla termocoppia. Il filo incandescente, posto orizzontalmente, deve venire portato a contatto con l'esemplare con una forza compresa tra 0,8 N e 1,2 N per un tempo di 30 ± 1 s. Sotto l'esemplare, ad una distanza di 200 ± 5 mm dal punto di contatto del filo incandescente con la parte in prova, va posta una tavola di legno di abete bianco, spessa circa 10 mm e ricoperta con un foglio di carta velina leggera, con grammatura compresa tra 12 g/m^2 e 30 g/m^2 . Durante la prova, deve essere evitato qualsiasi movimento d'aria che possa influenzare il risultato della prova stessa.

Inizialmente si stabilizzano gli esemplari da provare, la tavola di legno e il foglio di carta velina, in un ambiente regolato ad una temperatura compresa tra $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ed un'umidità relativa compresa tra 45% e 75%, per la durata di 24 ore. Successivamente, si fissa l'esemplare sull'apparecchio in modo che la superficie di contatto con la punta sia verticale e che le parti di fissaggio della stessa abbiano un effetto trascurabile sulle perdite di calore. La prova deve essere effettuata sulla parte di superficie dell'esemplare che più probabilmente sarà sottoposta alle sollecitazioni termiche nell'impiego usuale. Preferibilmente, applicare la punta su superfici piane, e a una distanza dal bordo superiore a 15 mm.

Se non diversamente specificato, prima di iniziare la prova il filo va pulito con una spazzola e portato alla temperatura di $850 \pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$; la corrente di riscaldamento e la temperatura devono rimanere costanti per un periodo di almeno 60 s. Durante questo periodo, l'esemplare non deve essere influenzato dall'irradiazione termico del filo. La punta del filo, posta orizzontalmente, viene quindi portata a contatto con l'esemplare. Durante questo periodo, la corrente di riscaldamento deve rimanere costante e lo spostamento della punta del filo incandescente, attraverso l'esemplare, deve essere limitato meccanicamente a 7 mm.

Al termine della prova, si separa lentamente il filo dall'esemplare, evitando ogni ulteriore riscaldamento e qualsiasi movimento d'aria che possa influenzare il risultato della prova. La prova viene eseguita solitamente su un solo esemplare. In caso di dubbi sui risultati di prova, la stessa viene ripetuta su due ulteriori esemplari.

Durante l'applicazione del filo e nei 30 s successivi bisogna osservare e registrare:

- il tempo t_i dall'inizio dell'applicazione dell'estremità del filo al momento in cui il provino o lo strato sotto si incendiano;
- il tempo t_e dall'inizio dell'applicazione dell'estremità del filo al momento in cui le fiamme si spengono durante o dopo il periodo di applicazione; l'altezza della fiamma è la distanza verticale, misurata tra il bordo superiore del filo incandescente e la sommità visibile della fiamma.
- il grado di penetrazione dell'estremità del filo o la distorsione del provino;
- tutte le eventuali bruciature della tavola in legno.

Si rileva la massima altezza di qualsiasi fiamma che si mantenga per un periodo di circa 1 s, non tenendo conto però della fase iniziale di accensione. Nel caso in cui l'unica fiamma presente sia quella iniziale, bisogna indicare chiaramente nel certificato finale di prova tale situazione, riportando l'altezza della fiamma iniziale ed il tempo di spegnimento della stessa.

La prova si considera superata se durante il primo periodo ed entro i 30 s successivi non si rilevano:

- fiamme o incandescenze del materiale plastico e del foglio di carta velina sottostante all'esemplare e bruciature della tavola di legno;
- fiamme o incandescenze del materiale e del foglio di carta velina sottostante l'esemplare che si estinguono oltre i 30 s dalla rimozione del filo incandescente.

La prova si ripete solitamente su 3 punti diversi dell'esemplare. In questo caso, è necessario assicurarsi che il deterioramento causato dalle precedenti prove non influenzi il risultato della prova che deve essere effettuata.

Prova di fiamma con ago: Questa prova concorda con la norma *CEI 50-11*. Le parti in materiale isolante o di altro materiale combustibile, che possono prendere fuoco per effetto del calore o delle fiamme prodotte da un componente guasto, devono essere resistenti alla fiamma. La prova di resistenza alla fiamma simula le sollecitazioni termiche che possono essere prodotte da tali sorgenti di calore o dalla presenza accidentale di una qualsiasi sorgente di accensione. In questa prova infatti, dopo aver fissato l'esemplare sull'apparecchio di prova, si mantiene il tutto a contatto con una fiamma artificiale. Per valutare la possibilità di propagazione della fiamma, per esempio tramite particelle incandescenti o accese che cadono dall'esemplare, si pone a 200 ± 5 mm sotto il punto di applicazione della fiamma, una tavola di legno di abete bianco, spessore 10 mm e ricoperta con un foglio di carta velina leggera, grammatura compresa tra 12 g/m^2 e 30 g/m^2 .

Si stabilizzano inizialmente gli esemplari, la tavola di legno e il foglio di carta velina in un ambiente controllato ad una temperatura compresa tra $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e $35 \text{ }^\circ\text{C}$, ad una umidità relativa compresa tra 45% e 75% per la durata di 24 ore.

Il bruciatore deve essere alimentato con gas butano di purezza almeno del 95% e durante la prova non deve essere immessa aria nel tubo del bruciatore. La fiamma deve essere regolata ad una lunghezza di 12 ± 1 mm senza alimentazione d'aria artificiale, tenendo l'asse del bruciatore in posizione verticale. Si posiziona quindi la fiamma, rispetto all'esemplare, come indicato in **Figura 4.24** a seconda del caso più gravoso. La durata di applicazione della fiamma deve essere di 30 s, se non diversamente indicato in disegno. L'apparecchio di prova consiste in un bruciatore formato da un ago ipodermico (vedi Figura 4.24) cui è stata tagliata l'estremità affusolata.

La prova si ripete su 3 campioni diversi e si considera superata se:

- l'esemplare non si incendia;
- le particelle infiammate o incandescenti che cadono dall'esemplare, non propagano l'incendio allo strato di carta velina posta sotto l'esemplare, e l'esemplare non è in fiamme o incandescente alla fine dell'applicazione della fiamma di prova;
- la durata della combustione dell'esemplare è inferiore a 30 s.

La prova si ripete solitamente su 3 punti diversi dell'esemplare. In questo caso, è necessario assicurarsi che il deterioramento causato dalle precedenti prove non influenzi il risultato della prova che deve essere effettuata.

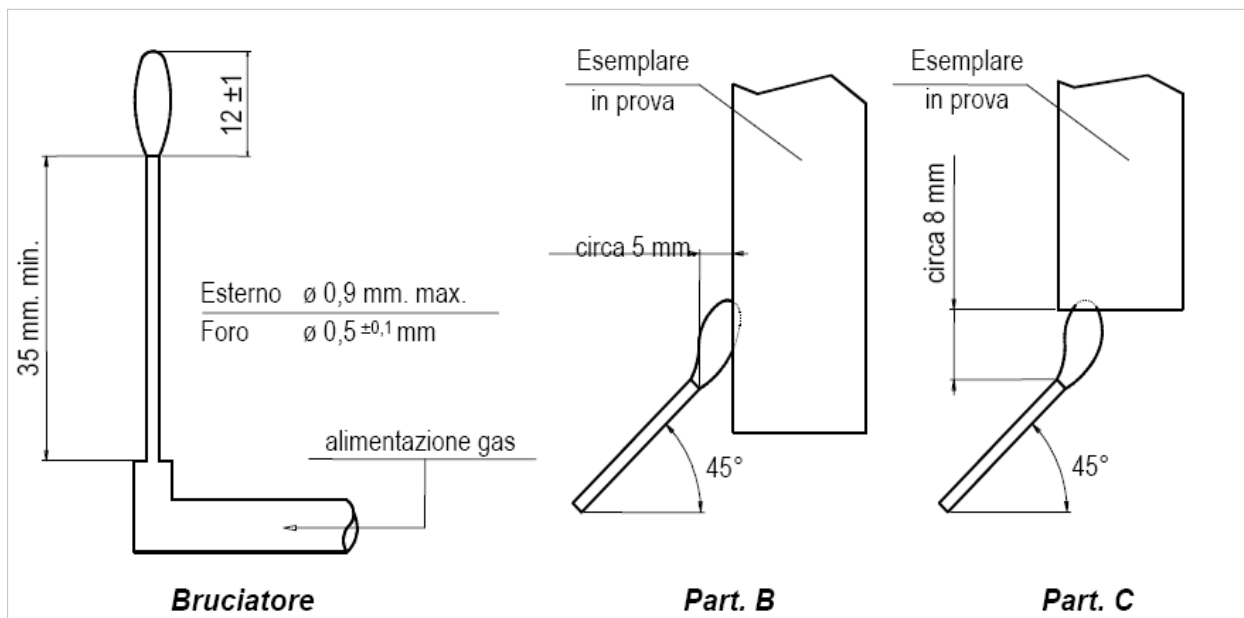


Figura 4.24 – Esempio di posizione della fiamma di prova.

5. Implementazione sperimentale delle Normative Internazionali

Nei precedenti capitoli sono state descritte nel dettaglio le connessioni elettriche a spostamento di isolante elencando tutte le Normative Internazionali e gli standard industriali dedicati a questi componenti. Queste prescrizioni prevedono tutta una serie di Prove Tecniche da eseguire sui connettori IDC al fine di garantire la loro affidabilità. In questo capitolo si vuole definire l'*organizzazione dei programmi di prova*, che va dalla scelta del numero di campioni all'ordine di esecuzione delle prove stesse. Oltre a questo, è fondamentale dare anche delle indicazioni pratiche che definiscono gli strumenti e i metodi di misura più adatti all'esecuzione delle prove.

5.1 *Organizzazione delle prove*

L'organizzazione delle prove da eseguire per il collaudo delle connessioni elettriche a spostamento di isolante è riportata nella norma specifica IEC 352. I programmi di prova adatti alle connessioni IDC accessibili sono diversi rispetto a quelli adatti alle connessioni IDC non accessibili.

Questi programmi di prova sono sostanzialmente due: un programma di prove di base ed un programma di prove completo. I campioni vengono sottoposti ad un programma di prove base se conformi a tutte le caratteristiche di progetto specificate nel paragrafo 4.3.2, altrimenti devono essere testati seguendo il programma di prove completo. In questa sezione saranno descritti nel dettaglio entrambi questi programmi di prove.

5.1.1 Preparazione dei campioni in prova

Prima delle prove, si devono preparare adeguatamente i campioni. Ciascun campione deve essere costituito da un terminale IDC con un filo inserito nella fessura di connessione, salvo diversa indicazione imposta dalla specifica prova che si deve effettuare. Prima di preparare i campioni si dovrà verificare che:

- i terminali e i fili siano corretti;
- laddove le connessioni siano realizzate con l'utensile di inserzione del filo, si deve verificare che tale utensile sia appropriato e che funzioni correttamente;
- laddove le connessioni siano realizzate con un blocco di guida, si deve verificare che tale dispositivo sia appropriato e che funzioni correttamente;
- l'operatore sia capace di realizzare connessioni IDC conformi alle caratteristiche di progetto specificate per le connessioni IDC complete (vedi paragrafo 4.3.2).

Quando devono essere provate le connessioni IDC con terminali progettati per accettare una gamma di diametri dei fili, le prove devono essere effettuate sul numero di campioni riportato in **Tabella 5.1**, per quanto riguarda le connessioni IDC accessibili, e in **Tabella 5.2**, per quanto riguarda le connessioni IDC non accessibili. In entrambi i casi vengono provati i conduttori di diametro minimo e massimo della gamma di fili.

Quando devono essere provati componenti con contatti multipli, il numero richiesto di campioni deve essere ripartito in maniera aleatoria su diversi componenti.

Programma di prove	Riferimento	Numero di campioni richiesto in tutti i casi quando devono essere provati i terminali IDC riutilizzabili e non riutilizzabili	Numero di campioni richiesto in aggiunta quando:	
			devono essere provati terminali IDC riutilizzabili	devono essere provati terminali IDC per una gamma di diametri dei fili
Programma di prove di base (paragrafo 5.1.2)	5.1.2 (1)	20	–	20
	5.1.2 (2)	–	20	–
Programma di prove completo (paragrafo 5.1.3)	5.1.3 (1) gruppo A	20	–	20
	5.1.3 (1) gruppo B	20	–	20
	5.1.3 (1) gruppo C	20	–	20
	5.1.3 (1) gruppo D	20	–	20
	5.1.3 (2)	–	60	–

Tabella 5.1 – Numero di campioni richiesto per le prove relative alle connessioni IDC accessibili.

Programma di prove	Riferimento	Numero di campioni richiesto in tutti i casi quando devono essere provati i terminali IDC riutilizzabili e non riutilizzabili	Numero di campioni richiesto in aggiunta quando:	
			devono essere provati terminali IDC riutilizzabili	devono essere provati terminali IDC per una gamma di diametri dei fili
Programma di prove di base (paragrafo 5.1.4)	5.1.4 (1)	20 o 22 (opzionale)	–	20 o 22 (opzionale)
	5.1.4 (2)	–	2 o 4 (opzionale)	–
Programma di prove completo (paragrafo 5.1.5)	5.1.5 (1) gruppo A	2 (opzionale)	–	2 (opzionale)
	5.1.5 (1) gruppo B	20	–	20
	5.1.5 (1) gruppo C	20	–	20
	5.1.5 (1) gruppo D	20	–	20
	5.1.5 (2)	–	40 o 42 (opzionale)	–

Tabella 5.2 – Numero di campioni richiesto per le prove relative alle connessioni IDC non accessibili.

5.1.2 Programma di prove di base per connessioni IDC accessibili

Nel caso in cui sia applicabile il programma di prove di base (vedi paragrafo 4.3.3), il numero di campioni specificato in Tabella 5.1 deve essere preparato e sottoposto all'*esame iniziale*. Questo esame preventivo deve essere effettuato secondo le prescrizioni riportate nel paragrafo 4.3.4, ai fini di verificare che le caratteristiche di progetto riportate nel paragrafo 4.3.2 siano rispettate.

Quando devono essere provate connessioni IDC accessibili con terminali riutilizzabili o non riutilizzabili, i 20 campioni richiesti devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo. Quando devono essere provati terminali riutilizzabili o non riutilizzabili adatti per una gamma di diametri dei fili, entrambi i gruppi richiesti (vedi Tabella 5.1), con 20 campioni ciascuno, devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo.

Quando devono essere provate le connessioni IDC accessibili con terminali riutilizzabili, i 20 campioni richiesti devono essere sottoposti alla prove addizionali (2) definite in questo paragrafo.

(1) Prova delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili: Questa prova prevede 20 campioni oppure 2×20 campioni se devono essere provati terminali adatti per una gamma di diametri dei fili.

Dopo l'esame iniziale i primi 10 campioni o i 2×10 campioni, secondo il caso, devono essere sottoposti in sequenza alle prove indicate in **Tabella 5.3** (fase di prova P1).

Dopo l'esame iniziale i 10 o i 2×10 campioni rimanenti, secondo il caso, devono essere sottoposti in

sequenza alle prove indicate in **Tabella 5.4** (fase di prova P2).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
P1.1			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2
P1.2	Piegatura del filo	4.4.3	Perturbazione di contatto	2e	4.5.1
P1.3	Cambi rapidi di temperatura	4.6.3		11d	
P1.4	Caldo umido ciclico	4.6.1		11m	
P1.5			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2

Tabella 5.3 – Prova delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili (fase di prova P1).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
P2	Forza di estrazione trasversale	4.4.1			4.4.1

Tabella 5.4 – Prova delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili (fase di prova P2).

(2) Prove aggiuntive delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili: Queste prove prevedono 20 campioni. Dopo l'esame iniziale, tutti i campioni devono essere sottoposti in sequenza alle prove indicate in **Tabella 5.5** (fase di prova P3).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
P3.1	Connessioni e sconnessioni ripetute	4.4.5			
P3.2	Forza di estrazione trasversale	4.4.1			4.4.1

Tabella 5.5 – Prove aggiuntive delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili (fase di prova P3).

Per un'orientazione rapida, i programmi di prova descritti in questo paragrafo vengono ripetuti sotto forma di *tavole sinottiche* in modo da semplificare il più possibile la trattazione (vedi **Figura 5.1**).

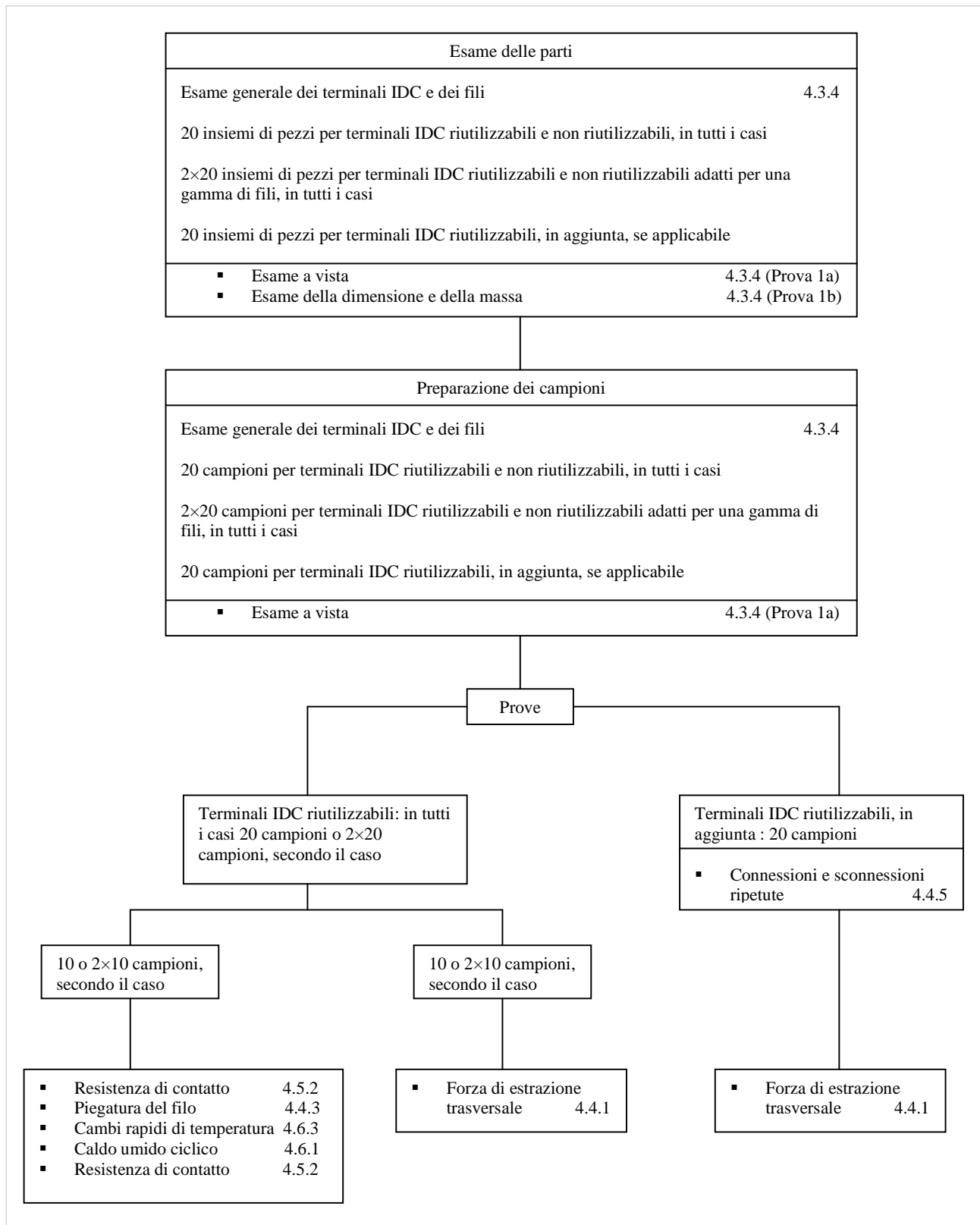


Figura 5.1 – Programma di prove di base per connessioni IDC accessibili.

5.1.3 Programma di prove completo per connessioni IDC accessibili

Nel caso sia necessario il programma completo di prove (vedi paragrafo 4.3.3), il numero di campioni specificato in Tabella 5.1 deve essere preparato e sottoposto all'esame iniziale. Questo esame preventivo deve essere effettuato secondo le prescrizioni riportate nel paragrafo 4.3.4, ai fini di verificare che le caratteristiche di progetto riportate nel paragrafo 4.3.2 siano rispettate.

Quando devono essere provate connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili o non riutilizzabili, gli 80 campioni specificati devono essere suddivisi in 4 gruppi di 20 campioni ciascuno e devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo (gruppi di prove A, B, C e D).

Quando devono essere provati terminali riutilizzabili o non riutilizzabili adatti per una gamma di diametri dei fili, entrambi i gruppi specificati (vedi Tabella 5.1) con 4×20 campioni ciascuno devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo (gruppi di prove A, B, C e D).

Quando devono essere provate connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili, i 60 campioni specificati devono essere sottoposti alle prove aggiuntive (2) definite in questo paragrafo.

(1) Prova delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili: Questa prova prevede 80 campioni o 2×80 campioni, se devono essere provati terminali adatti ad una gamma di diametri dei fili.

Dopo l'esame iniziale, il numero di campioni deve essere suddiviso in 4 gruppi di 20 o di 2×20 campioni, secondo il caso. Tali campioni devono quindi essere sottoposti alle seguenti prove secondo i gruppi di prove A, B, C e D:

- *gruppo A:* questo gruppo prevede 20 campioni o 2×20, secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in **Tabella 5.6** (fase di prova AP);
- *gruppo B:* questo gruppo prevede 20 campioni o 2×20, secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in **Tabella 5.7** (fase di prova BP);
- *gruppo C:* questo gruppo prevede 20 campioni o 2×20, secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in **Tabella 5.8** (fase di prova CP);
- *gruppo D:* questo gruppo prevede 20 campioni o 2×20, secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in **Tabella 5.9** (fase di prova DP).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
AP1	Forza di estrazione trasversale	4.4.1			4.4.1

Tabella 5.6 – Gruppo di prova A (fase di prova AP).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
BP1			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2
BP2	Piegatura del filo	4.4.3	Perturbazione di contatto	2e	4.5.1
BP3	Carico elettrico e temperatura	4.5.5		9b	
BP4			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2

Tabella 5.7 – Gruppo di prova B (fase di prova BP).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
CP1			Resistenza di contatto	2a	4.5.2
CP2	Vibrazioni	4.4.4	Perturbazione di contatto	6d e 2e	4.5.1
CP3	Cambi rapidi di temperatura	4.6.3		11d	
CP4	Sequenza climatica	4.6.2		11a	
CP4.1	Caldo secco	4.6.2		11i	
CP4.2	Caldo umido ciclico, 1° ciclo	4.6.2			
CP4.3	Freddo	4.6.2		11j	
CP4.4	Caldo umido ciclico, cicli rimanenti	4.5.5		11m	
CP5			Resistenza di contatto	2a	4.5.2

Tabella 5.8 – Gruppo di prova C (fase di prova CP).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
DP1			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2
DP2	Corrosione in atmosfera industriale	4.6.4			
DP3			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2

Tabella 5.9 – Gruppo di prova D (fase di prova DP).

(2) Prove aggiuntive delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili: Queste prove prevedono 60 campioni.

Dopo l'esame iniziale, tutti i campioni devono essere sottoposti in sequenza alle prove indicate in **Tabella 5.10** (fase di prova EP).

Quando la fase di prova EP1 è stata eseguita, i 60 campioni devono essere suddivisi in 3 gruppi di 20 campioni ciascuno:

- il primo gruppo deve essere sottoposto alle prove del gruppo A secondo la Tabella 5.6;
- il secondo gruppo deve essere sottoposto alle prove del gruppo C secondo la Tabella 5.8;
- il terzo gruppo deve essere sottoposto alle prove del gruppo D secondo la Tabella 5.9.

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
EP1	Connessioni e sconnessioni ripetute	4.4.5			4.4.5

Tabella 5.10 – Prove aggiuntive delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili (fase di prova EP).

Anche per il programma di prove completo, per una orientazione rapida, l'organizzazione delle prove viene ripetuta sotto forma di tavole sinottiche (vedi **Figura 5.2**).

Implementazione sperimentale delle Normative Internazionali

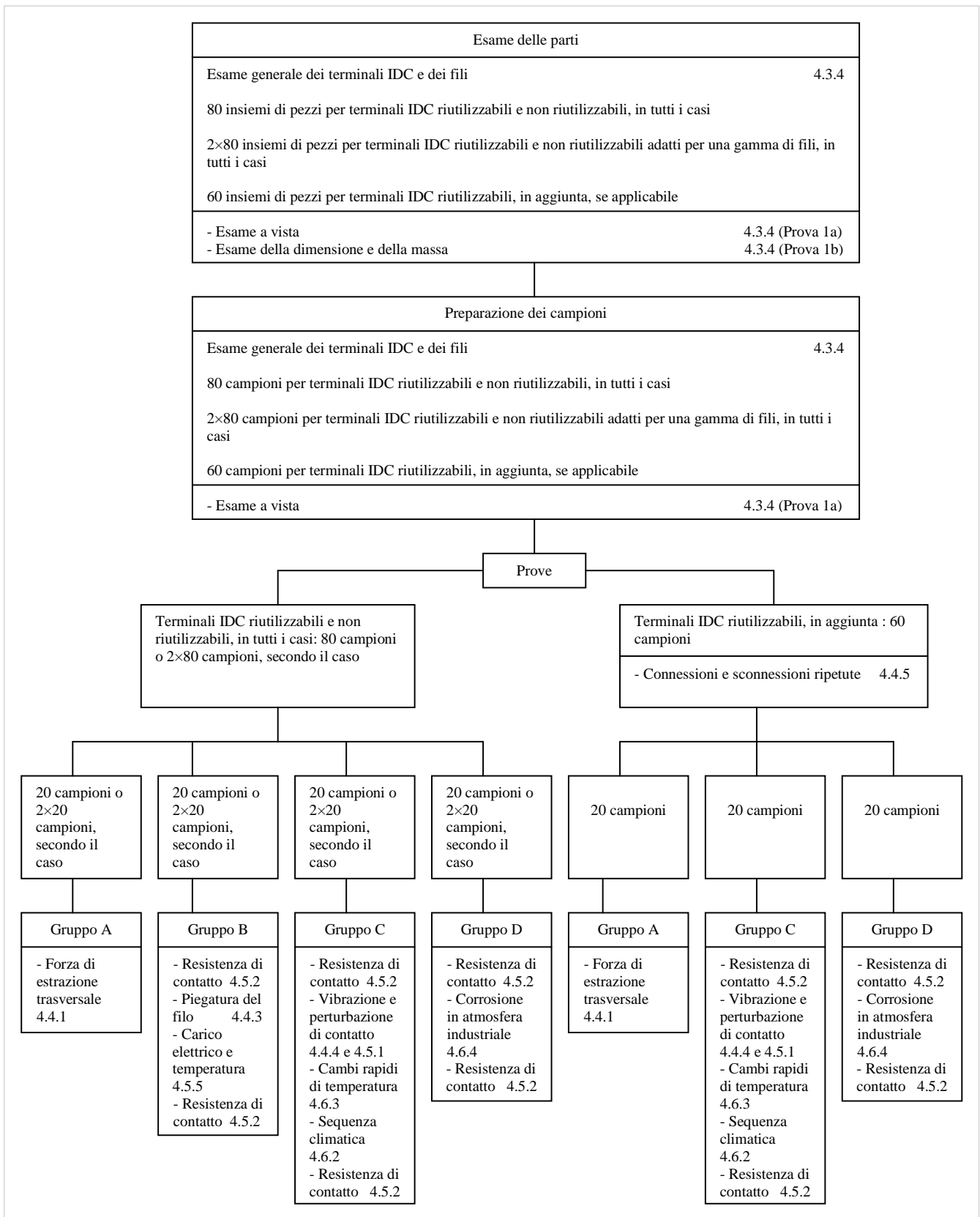


Figura 5.2 – Programma di prove completo per connessioni IDC accessibili.

5.1.4 Programma di prove di base per connessioni IDC non accessibili

Nel caso in cui sia applicabile il programma di prove di base (vedi paragrafo 4.3.3), il numero di campioni specificato in Tabella 5.2 deve essere preparato e sottoposto all'esame iniziale. Questo esame preventivo deve essere effettuato secondo le prescrizioni riportate nel paragrafo 4.3.4, ai fini di verificare che le caratteristiche di progetto riportate nel paragrafo 4.3.2 siano rispettate.

Quando devono essere provate connessioni IDC non accessibili con terminali riutilizzabili o non riutilizzabili, i 20 (o 22) campioni richiesti devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo.

Quando devono essere provati terminali riutilizzabili o non riutilizzabili adatti per una gamma di diametri dei fili, entrambi i gruppi richiesti (vedi Tabella 5.2) con 20 (o 22) campioni ciascuno devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo.

Quando devono essere provate le connessioni IDC non accessibili con terminali riutilizzabili, i 2 (o 4) campioni richiesti devono essere sottoposti alle prove (2) definite in questo paragrafo.

(1) Prova delle connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili:

Questa prova prevede 20 campioni o 22 campioni (opzionale) e 2×(20 o 22 opzionale) campioni se devono essere provati terminali adatti per una gamma di diametri dei fili.

Dopo l'esame iniziale i 20 campioni o i 2×20 campioni, secondo il caso, devono essere sottoposti in sequenza alle prove indicate in **Tabella 5.11** (fase di prova P1).

Dopo l'esame iniziale i 2 o i 2×2 campioni opzionali rimanenti, secondo il caso, devono essere sottoposti in sequenza alle prove indicate in **Tabella 5.12** (fase di prova P2).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
P1.1			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2
P1.2	Piegatura del filo	4.4.3	Perturbazione di contatto	2e	4.5.1
P1.3	Cambi rapidi di temperatura	4.6.3		11d	
P1.4	Caldo umido ciclico	4.6.1		11m	
P1.5			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2

Tabella 5.11 – Prova delle connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili (fase di prova P1).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
P2	Microsezione	4.4.6			4.4.6

Tabella 5.12 – Prova delle connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili (fase di prova P2).

(2) Prove aggiuntive delle connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili: Queste prove prevedono 2 campioni o 2x2 campioni (opzionale).

Dopo l'esame iniziale, i primi 2 campioni devono essere sottoposti in sequenza alle indicate prove in **Tabella 5.13** (fase di prova P3).

I 2 campioni opzionali invece, dopo l'esame iniziale, devono essere sottoposti in sequenza alle prove indicate in **Tabella 5.14** (fase di prova P4).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
P3.1			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2
P3.2	Connessioni e sconnessioni ripetute	4.4.5			
P3.3			Resistenza di contatto	2a o 2b	4.5.2

Tabella 5.13 – Prove aggiuntive delle connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili (fase di prova P3).

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
P4.1	Connessioni e sconnessioni ripetute	4.4.5			
P4.2	Microsezione	4.4.6			4.4.6

Tabella 5.14 – Prove aggiuntive delle connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili (fase di prova P4).

Come per le connessioni IDC accessibili, anche per le connessioni IDC non accessibili viene riportata la tavola sinottica riguardante il programma di prove di base (vedi **Figura 5.3**).

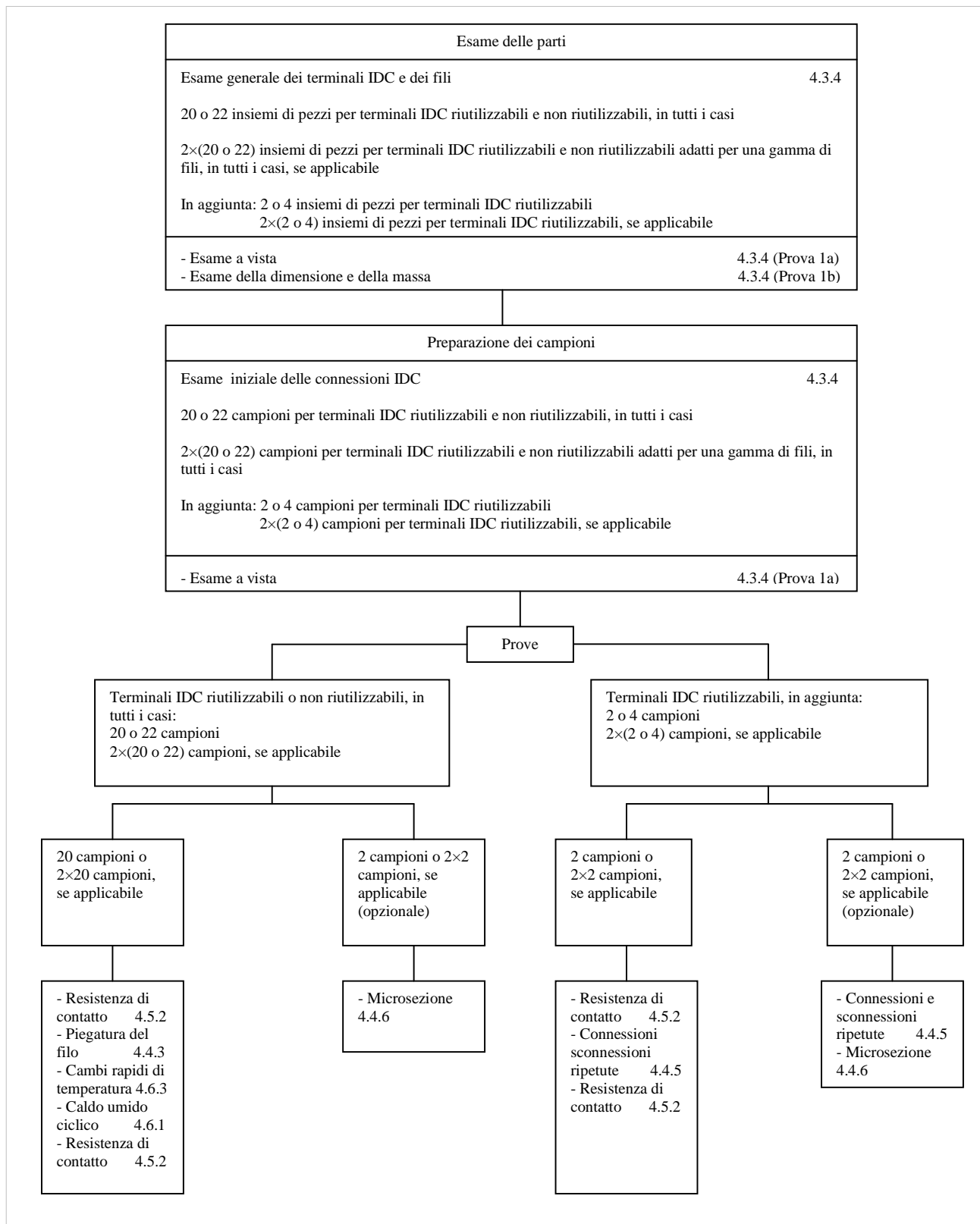


Figura 5.3 – Programma di prove di base per connessioni IDC non accessibili.

5.1.5 Programma di prove completo per connessioni IDC non accessibili

Nel caso sia necessario il programma completo di prove (vedi paragrafo 4.3.3), il numero di campioni specificato in Tabella 5.2 deve essere preparato e sottoposto all'esame iniziale. Questo esame preventivo deve essere effettuato secondo le prescrizioni riportate nel paragrafo 4.3.4, ai fini di verificare che le caratteristiche di progetto riportate nel paragrafo 4.3.2 siano rispettate.

Quando devono essere provate connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili o non riutilizzabili, i 62 campioni specificati devono essere suddivisi in 4 gruppi di 20 campioni ciascuno e devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo (gruppi di prove A, B, C e D).

Quando devono essere provati terminali riutilizzabili o non riutilizzabili adatti per una gamma di diametri dei fili, entrambi i gruppi specificati (vedi Tabella 5.2) con 62 campioni ciascuno devono essere sottoposti alle prove (1) definite in questo paragrafo (gruppi di prove A, B, C e D).

Quando devono essere provate connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili, i 42 campioni specificati devono essere sottoposti alle prove aggiuntive (2) definite in questo paragrafo.

(1) Prova delle connessioni accessibili IDC con terminali riutilizzabili e non riutilizzabili: Questa prova prevede 60 campioni o 62 campioni (opzionale) e $2 \times (60$ o 62 opzionale) campioni, se devono essere provati terminali adatti ad una gamma di diametri dei fili.

Dopo l'esame iniziale, i campioni devono essere sottoposti alle seguenti prove secondo i gruppi di prove A, B, C e D:

- *gruppo A:* questo gruppo prevede 2 campioni o 2×2 , secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in **Tabella 5.15** (fase di prova AP);
- *gruppo B:* questo gruppo prevede 20 campioni o 2×20 , secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in Tabella 5.7 (fase di prova BP);
- *gruppo C:* questo gruppo prevede 20 campioni o 2×20 , secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in Tabella 5.8 (fase di prova CP);
- *gruppo D:* questo gruppo prevede 20 campioni o 2×20 , secondo il caso, sui quali devono essere eseguite in sequenza le prove indicate in Tabella 5.9 (fase di prova DP).

Come si può notare, per quanto riguarda i gruppi di campioni B,C e D, le prove da eseguire risultano le stesse sia che le connessioni da testare siano accessibili che non accessibili.

Fase di prova	Prova		Misure da effettuare		Prescrizioni
	Titolo	Riferimento paragrafo	Titolo	Pubb. IEC 512, Prova N.	Riferimento paragrafo
AP1	Microsezione	4.4.6			4.4.6

Tabella 5.15 – Gruppo di prova A (fase di prova AP).

(2) Prove aggiuntive delle connessioni non accessibili IDC con terminali riutilizzabili: Queste prove prevedono 40 (o 42) campioni.

Dopo l'esame iniziale, tutti i campioni devono essere sottoposti in sequenza alle prove indicate in Tabella 5.10 (fase di prova EP). Queste prove risultano le stesse sia che le connessioni da testare siano accessibili che non accessibili.

Quando la fase di prova EP1 è stata eseguita, 2 campioni possono essere sottoposti alle prove del gruppo A (vedi Tabella 5,15). I rimanenti 40 campioni devono essere suddivisi in 2 gruppi di 20 campioni ciascuno:

- il primo gruppo deve essere sottoposto alle prove del gruppo C secondo la Tabella 5.8;
- il secondo gruppo deve essere sottoposto alle prove del gruppo D secondo la Tabella 5.9.

Come per le connessioni IDC accessibili, anche per le connessioni IDC non accessibili viene riportata la tavola sinottica riguardante il programma di prove completo (vedi **Figura 5.4**).

Implementazione sperimentale delle Normative Internazionali

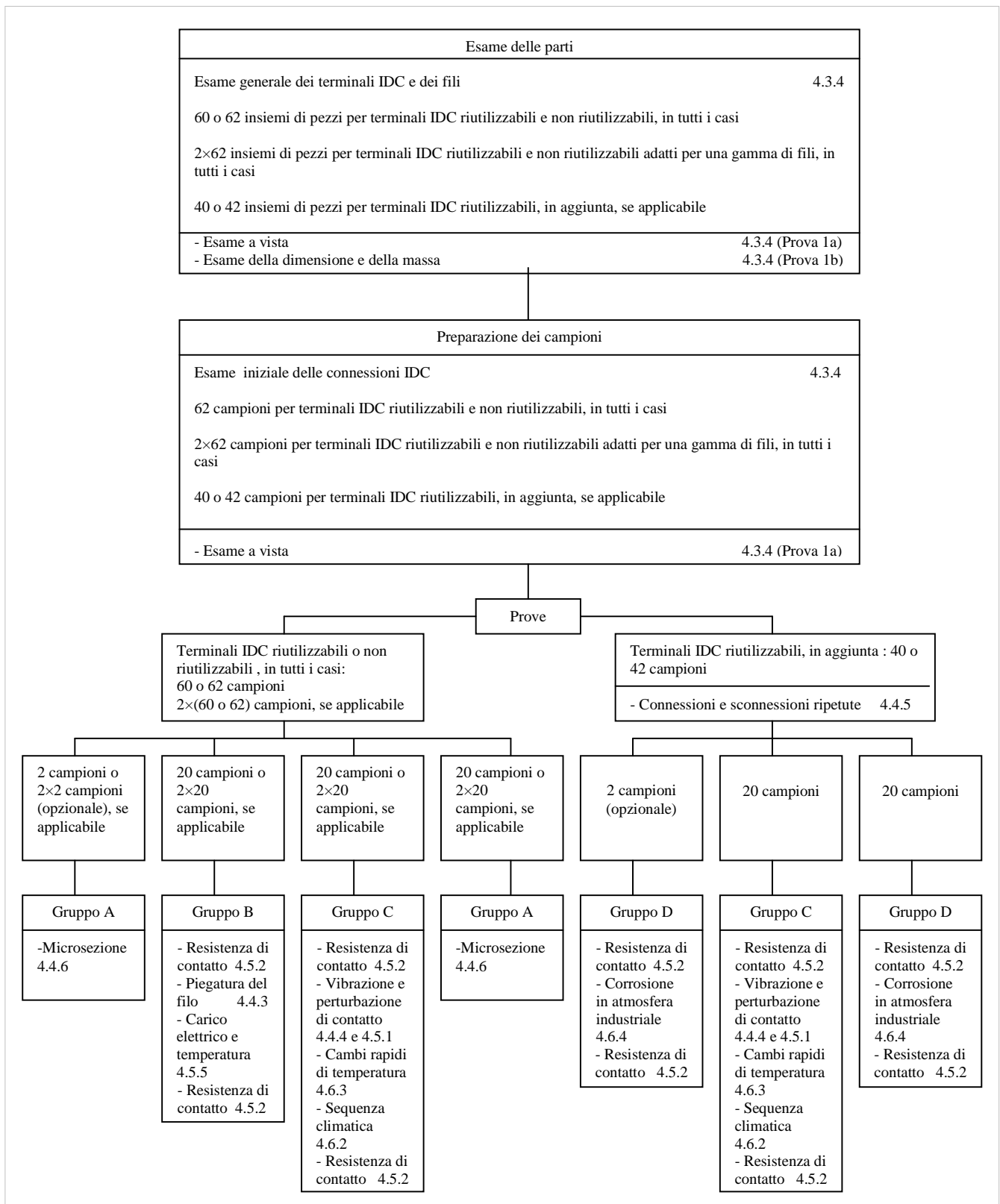


Figura 5.4 – Programma di prove completo per connessioni IDC non accessibili.

5.2 **Metodi di misura e strumentazione per prove meccaniche**

Le prove meccaniche di piegatura del filo e di microsezione, da effettuare sulle connessioni elettriche a spostamento di isolante, non richiedono particolari strumenti per l'esecuzione. La prova di piegatura del filo viene effettuata con un semplice dispositivo di fissaggio (vedi Figura 4.8 e Figura 4.9) ed un "peso" di valore appropriato. La prova di microsezione necessita solamente di un sistema di ingrandimento per valutare la deformazione del conduttore nella fessura di connessione.

Le prove che richiedono una certa esperienza e degli strumenti di misura più sofisticati sono le prove di trazione e di vibrazione. Per quanto riguarda le prove di trazione sono indispensabili dei sistemi di misurazione della forza (cella dinamometrica). Le prove di vibrazione invece sono concettualmente le più difficili da capire e necessitano anche di particolari strumenti per poterle eseguire.

In questa sezione saranno presentati i dispositivi e gli accorgimenti di misura necessari all'esecuzione delle prove di trazione e vibrazione, tenendo conto in particolare dei sistemi sperimentali utilizzati da INARCA.

5.2.1 **Cella dinamometrica**

La cella dinamometrica è la macchina che permette di effettuare la prova di estrazione trasversale del filo dal terminale e la prova di resistenza alla trazione (vedi paragrafo 4.4.1 e paragrafo 4.4.2). La stessa macchina viene utilizzata anche per le prove meccaniche da eseguire sui connettori in materiale plastico, quali la misura della forza di inserimento del terminale nel connettore e la forza di estrazione del terminale dal connettore (vedi paragrafo 4.7.1).

La cella dinamometrica utilizzata per le prove succitate è una macchina a funzionamento elettromeccanico computerizzato con capacità di carico (portata) specificata sia a trazione che a compressione. E' costituita da un robusto telaio bicolonna, con traslazione verticale della testa motrice per mezzo di vite a circolazione di sfere, con chiocciola precaricata ad altissima precisione che garantisce la riduzione dei giochi. Questa macchina è equipaggiata con particolari accessori e specifici software, essa può effettuare prove di trazione, compressione, piega, flessione, durezza e tutte le altre prove analoghe previste dalle Normative Internazionali. Nel caso delle prove sui connettori elettrici il suo utilizzo si limita alle prove di trazione. Il rilievo del carico di prova viene effettuato per mezzo di cella di carico ad alta precisione, mentre il rilievo degli allungamenti (corsa della testa mobile) avviene per mezzo di encoder incrementale ad alta precisione. Per gli utilizzi specifici della macchina vengono realizzati opportuni accessori forniti separatamente.

Nello specifico, INARCA utilizza per le prove meccaniche sui connettori una cella dinamometrica prodotta dalla *Galdabini* (vedi **Figura 5.5**). Questa macchina a funzionamento elettromeccanico presenta una capacità di carico di 5 kN. Per la misurazione della forza è utilizzato un *dinamometro* di portata pari a 1 kN. In dotazione a questo dispositivo è presente un indicatore numerico guidato dal sistema a microprocessore, privo di selettore di fondo scala, con risoluzione di 0,03 N da 0 a 100 N e di 0,1 N da 100 N a 1000 N. Il software di gestione del sistema è il *Graphwork*, il quale offre soluzioni estremamente avanzate per i responsabili dei laboratori e per gli operatori dello strumento. L'operatore può selezionare i metodi di prova secondo le Normative Internazionali ed eseguire con pochissime e semplici operazioni la prova prescelta, ovvero:

- selezione del metodo e del tipo di prova;
- inserimento delle dimensioni del provino;
- consenso di inizio prova (durata del test);
- salvataggio dei dati di prova, stampa del certificato ed esportazione dei risultati.

La prova di trazione o compressione può essere suddivisa in “fasi”, per ogni fase è possibile controllare lo strumento in velocità, deformazione, incremento di carico, ciclico ecc.

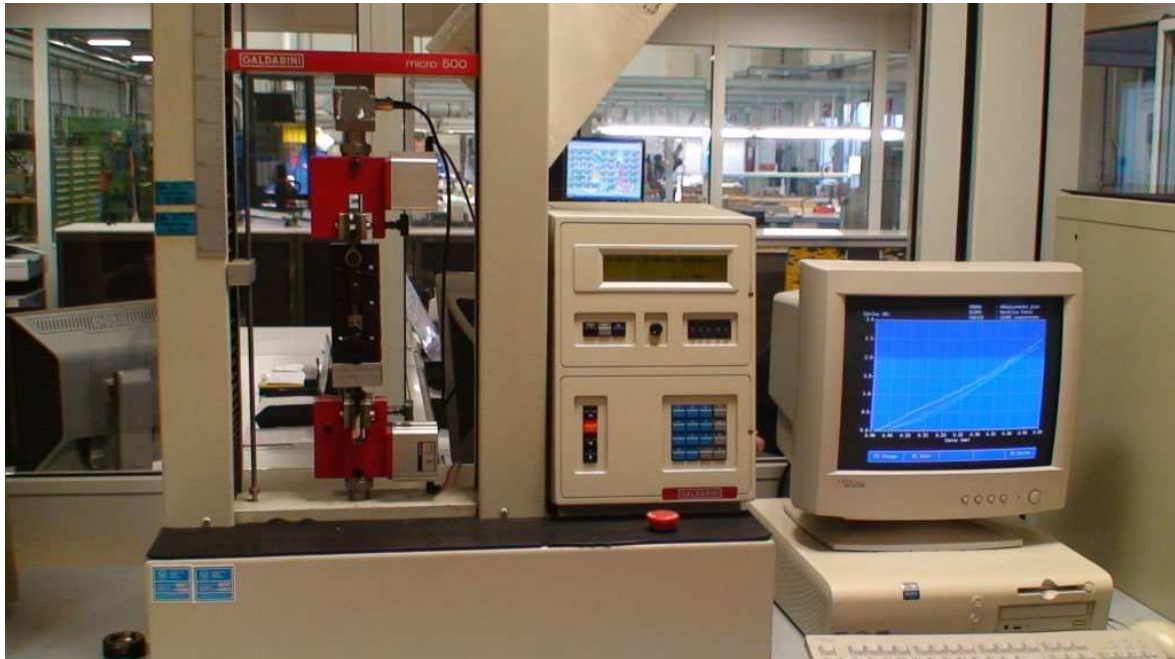


Figura 5.5 – Cella di carico Galdabini MICRO500.

E' importante ricordare che le *Normative Europee* prescrivono che tutta la strumentazione di misura utilizzata, per l'esecuzione di prove meccaniche, sia calibrata con riferibilità a campioni internazionali riconosciuti. A questo proposito, la cella dinamometrica Galdabini è munita di un *Certificato di Taratura* emesso dal *SIT (Servizio di Taratura in Italia)*, il quale contiene la *classificazione* propria dello strumento secondo la norma *UNI EN ISO 7500-1/2005*:

- trazione: classe 1 per forze ≥ 10 N
 classe 2 per forze ≥ 20 N;
- compressione: classe 1 per forze ≥ 10 N
 classe 0,5 per forze ≥ 20 N.

5.2.2 Sistemi di vibrazione

Nel paragrafo 4.4.4 è stata definita la prova di vibrazione con riferimento alle Normative Internazionali IEC 512-4 e alle IEC 60068-2-6. In questo paragrafo si vuole spiegare il funzionamento vero e proprio del sistema di vibrazione utilizzato per eseguire la prova. Si ricordi che per le prove di vibrazione, da effettuare sulle connessioni IDC, deve essere garantito solamente che la vibrazione sia sinusoidale sui tre assi; non è prevista quindi la determinazione delle risonanze del componente in prova. Dopo la prova si deve verificare solamente la funzionalità del componente e durante la prova si deve verificare costantemente la continuità elettrica (come indicato nel paragrafo 4.4.4).

Il sistema di vibrazione comprende sostanzialmente l'attrezzatura di fissaggio di prova, l'eccitatore, l'amplificatore di potenza, il sistema di controllo dell'eccitatore ed il campione.

Attrezzatura di fissaggio di prova: L'oggetto in prova (nel nostro caso costituito da più connessioni IDC collegate in serie) è disposto su di un tavolo vibrante. I tavoli vibranti sono generalmente costituiti da una tavola porta pezzo, predisposta on modo che le parti da assoggettare a vibrazioni siano saldamente fissate. Un opportuno sistema di sospensioni consente alla tavola di oscillare. Il movimento può essere ottenuto in vari modi:

- tramite motovibratori a masse eccentriche;
- con azionamento mediante cinematismo ad eccentrico;
- con azionamento mediante elettromagneti.

Nel nostro caso si applica una forza alternata secondo legge sinusoidale. Detta F tale forza e m la massa complessiva di tutte le parti oscillanti, per la *legge di Newton*, si otterrà un movimento con accelerazione $a = F / m$. Notare come l'accelerazione diminuisca all'aumentare della massa. Poiché è proprio l'accelerazione a determinare lo stato di sollecitazione a vibrazione, è evidente che il sistema deve essere dimensionato in funzione della massa degli oggetti da fissare sul piano vibrante. L'ampiezza dell'oscillazione è generalmente di pochi millimetri e dipende, oltre che dai valori di F e m , anche dalla rigidità delle sospensioni elastiche su cui poggia il piano vibrante.

Prima di applicare la forza alternata al tavolo vibrante è fondamentale montare i campioni nei loro rispettivi punti di ancoraggio. Nella maggior numero dei casi, questo richiede l'utilizzo di una struttura speciale (*struttura di ancoraggio*) che permetta ai campioni di vibrare lungo gli assi specificati. Al momento del montaggio vengono scelti anche i punti di verifica e montati gli accelerometri, che permettono di controllare il livello di vibrazione della superficie di appoggio ed il comportamento della struttura di ancoraggio durante la prova. L'ancoraggio deve essere rigido, in modo da poter permettere alla forza generata di trasmettersi direttamente sui campioni in prova, evitando così eventuali introduzioni di risonanze. Tutte le risonanze della struttura devono stare al di fuori della gamma di frequenze di prova. Per poter ottenere un'alta frequenza di risonanza, senza incorrere in problemi di stress meccanici, sarà sempre necessario sovradimensionare la struttura di ancoraggio.

Le strutture di ancoraggio sono quasi sempre realizzate in alluminio, inoltre costruendo la struttura con una piastra relativamente sottile supportata da sostegni, è possibile ridurre notevolmente il peso. Le piastre inoltre sono delle forme geometriche con delle risposte vibratorie molto facili da calcolare. Bisogna tenere molta cura nell'assemblaggio delle parti della struttura; le imbullonature possono introdurre effetti di reazione della massa e le saldature possono provocare sforzi interni.

Se la risonanza non può essere evitata, lo smorzamento di questa può essere incrementato mediante l'uso di materiale come la gomma oppure l'introduzione di sostanze plastiche nelle cavità interne.

In **Figura 5.6** è riportato un esempio reale di tavolo vibrante con struttura di ancoraggio:

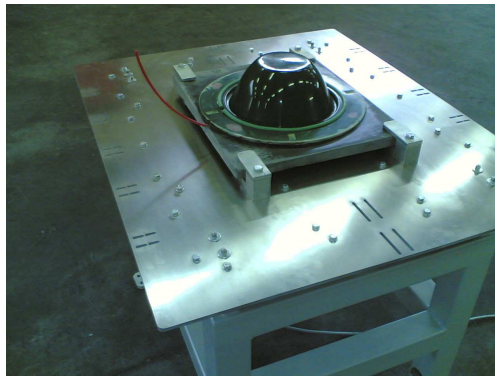


Figura 5.6 – Tavolo vibrante con struttura di ancoraggio.

Eccitatore: Dopo aver montato i campioni sul tavolo vibrante, è necessario un sistema che trasmetta al tavolo stesso i valori di vibrazione desiderati. Nel nostro caso, per produrre una determinata vibrazione si fa uso di un *eccitatore elettromagnetico*, detto anche *vibratore* o *shaker*, il quale converte un segnale elettrico in un movimento meccanico che è a sua volta controllato per mantenere un certo livello di vibrazione o di forza.

Il principio di funzionamento di un vibratore elettromagnetico è quello di operare come un autoperaltante, dove il movimento è prodotto dal passaggio della corrente attraverso una bobina in un campo magnetico. La forza usata per accelerare il movimento dell'elemento è proporzionale alla portata della corrente ed al flusso magnetico. Quindi il livello dell'eccitazione può essere controllato controllando la corrente.

Nelle piccole eccitazioni il campo magnetico è prodotto da un magnete permanente, mentre in quelle più grandi è necessario un elettromagnete. La corrente massima ed il carico, determinano il livello di accelerazione che può essere ottenuto. A basse frequenze, tuttavia, il livello di accelerazione decresce dovuto al limitato spostamento possibile dell'elemento mobile. Le risonanze dell'elemento mobile saranno il limite di frequenza superiore.

Nel nostro caso, il tipo di azionamento utilizzato nelle prove di vibrazione è quindi quello mediante elettromagneti. Un elettromagnete può attirare una massa ferrosa con una forza che diminuisce in maniera quadratica con l'aumentare della distanza elettromagnete/massa ferrosa, detta traferro. Negli impieghi pratici ci si limita a traferri dell'ordine di pochi millimetri. Le forze sviluppabili sono modeste per cui è un tipo di azionamento utilizzato quasi esclusivamente per sistemi risonanti, tali cioè da avere frequenza propria uguale a quella di eccitazione. Gli elettromagneti sono pilotati da schede elettroniche che, a loro volta, possono essere comandate da altri sistemi (tipicamente PLC o computer industriali). L'impiego di più magneti, agenti in direzioni diverse, può consentire di realizzare sistemi oscillanti su piani differenti. Ciò può rivelarsi utile nel realizzare sistemi di collaudo in grado di simulare sollecitazioni differenti per entità e direzione.

La forza F che un'armatura magnetica di uno shaker è in grado di produrre è proporzionale al flusso di corrente I che la attraversa, secondo la relazione (dove B è l'intensità del flusso magnetico ed L è la lunghezza dell'avvolgimento):

$$F = B \cdot I \cdot L \quad (5.1)$$

La direzione della forza segue la "regola della mano destra".

Per effettuare le prove di vibrazione, INARCA utilizza uno shaker prodotto da *Belotti* (vedi **Figura 5.7**). Belotti offre fino a 75 modelli di shaker progettati per i test di vibrazione, i quali coprono un range da 7 N a 289 N. Alcuni sistemi sono progettati anche per poter essere integrati con camere climatiche per effettuare test di vita accelerati e "stress-screening" con un alto grado di precisione e controllo.



Figura 5.7 – Eccitatore elettromagnetico (a destra) con sistema di controllo delle vibrazioni (a sinistra).

Amplificatore di potenza: Gli amplificatori di potenza per shaker sono molto particolari. Essi vengono utilizzati soprattutto per verificare l'entrata in risonanza dei componenti in prova. L'amplificatore è collegato direttamente con lo shaker ed è pilotato da un *oscillatore sinusoidale* con frequenza variabile da zero a qualche kilohertz. L'amplificatore fornisce potenza attraverso la tensione e la corrente alla bobina mobile dello shaker. Tanto maggiore è la velocità, tanto maggiore è la variazione di tensione richiesta. Tanto maggiore è la forza o l'accelerazione tanto maggiore è la corrente necessaria.

Nel caso l'amplificatore alimenti l'eccitatore (shaker) a corrente costante, la risposta in frequenza mostra tre regioni tipiche e di differente natura. Le prime due regioni corrispondono alla reazione e alla massa del sistema dell'elemento mobile con la sospensione (risonanza intorno ai 20 Hz). La terza regione rappresenta le risonanze dell'elemento mobile (risonanza intorno ai 5 kHz).

Una curva di risposta di un eccitatore con ingresso costante in tensione mostra le stesse regioni di controllo, dove la risonanza a bassa frequenza è notevolmente smorzata permettendo un controllo migliore del livello. La tensione di controllo ottenuta da un amplificatore a bassa impedenza è in genere preferita. Tuttavia, in certi casi, è vantaggioso un controllo in corrente, in particolare quando l'eccitatore viene usato come generatore di forza senza controreazione (dovrà però essere usato nel campo di frequenza medio). Questo richiede un amplificatore con uscita ad alta impedenza, per cui molti amplificatori permettono la scelta dell'impedenza di uscita.

Controllo dell'eccitatore: La curva di risposta in frequenza dell'eccitatore non è piatta e contiene delle risonanze; altre risonanze saranno introdotte quando l'oggetto in prova sarà montato sull'eccitatore. Quando si lavora su una vasta gamma di frequenze, il guadagno dell'amplificatore deve di conseguenza variare con la frequenza. Questo guadagno è regolato da un controllore di livello, il quale riceve le informazioni di controreazione dall'oggetto in prova. Gli elementi principali per un controllo dell'eccitatore consistono di un generatore di frequenza (oscillatore), un misuratore di vibrazioni (accelerometro) ed un circuito di controllo del livello.

L'accelerometro è il dispositivo fondamentale che permette di garantire il controllo dell'eccitatore. Esso non è altro che uno strumento di misura in grado di rilevare e misurare l'accelerazione. Nella maggior parte degli accelerometri, il principio di funzionamento è il medesimo, il quale si basa sulla rilevazione dell'inerzia di una massa quando viene sottoposta ad un'accelerazione. La massa viene sospesa ad un elemento elastico, mentre un qualche tipo di sensore (*sensore di posizione*) ne rileva lo spostamento rispetto alla struttura fissa del dispositivo. In presenza di un'accelerazione, la massa (che è dotata di una propria inerzia) si sposta dalla propria posizione di riposo in modo proporzionale all'accelerazione rilevata. Il sensore trasforma questo spostamento in un segnale elettrico acquisibile dai moderni sistemi di misura. La classificazione di questi strumenti viene fatta a seconda del principio di funzionamento del sensore di posizione utilizzato.

Nel caso delle prove sulle connessioni elettriche IDC vengono utilizzati dei segnali di eccitazione sinusoidali con frequenza variabile, il loro controllo è relativamente semplice e le risposte sono facilmente misurabili. Per i segnali a frequenza variabile viene applicata una tensione in controreazione fornita da un *compressore*. La necessità del compressore è quella di reagire alle risonanze poco smorzate anche alle alte velocità di scansione in frequenza.

Nella prova a frequenza variabile, adatta a testare le connessioni IDC, il segnale inviato all'eccitatore è in continua scansione avanti e indietro sulla gamma di frequenza predeterminata. Come già detto in precedenza, il parametro di controllo principale è il livello di accelerazione ma al di sotto di una certa frequenza (frequenza di incrocio) il parametro di controllo principale diventa lo spostamento. Nelle nostre prove la frequenza di incrocio è intorno ai 60 Hz, tale valore caratterizza il cambio dal parametro di accelerazione al parametro di spostamento e viceversa. Perciò il controllo dell'eccitatore usato per le

prove di vibrazioni sinusoidali a frequenza variabile deve avere almeno due canali di misura, con integratori per il calcolo dei livelli di spostamento e di velocità e dal livello di accelerazione misurato dall'accelerometro di controllo. Ci deve quindi essere la possibilità di cambio del canale di misura alla frequenza di incrocio.

In **Figura 5.8** è riportato il semplice schema di controllo dell'eccitatore:

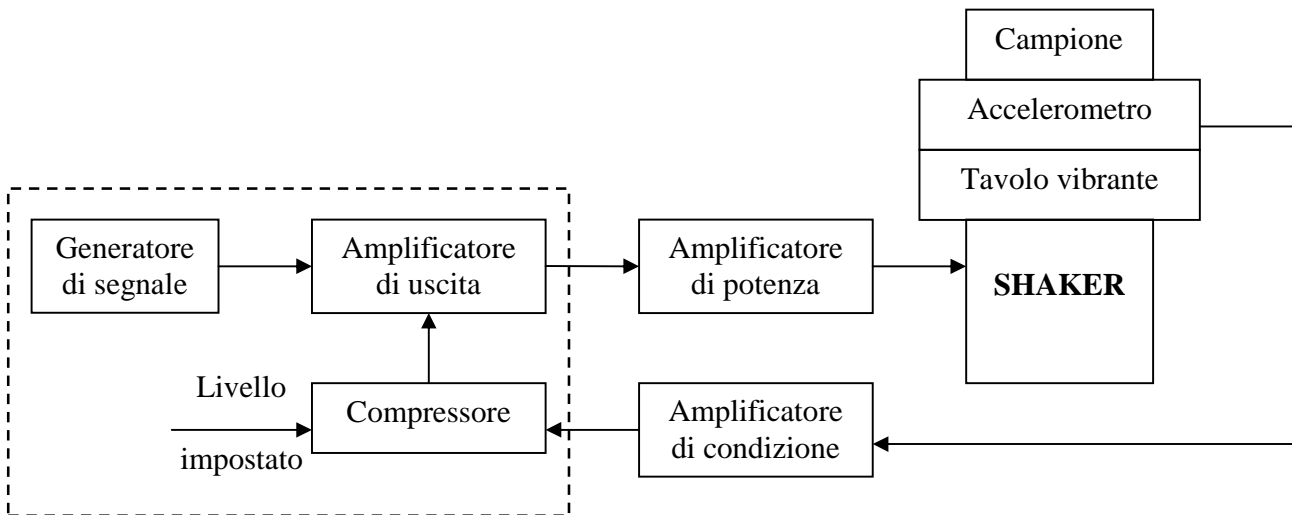


Figura 5.8 – Schema di controllo dell'eccitatore (shaker).

5.3 Metodi di misura e strumentazione per prove elettriche

I procedimenti per l'esecuzione delle prove elettriche, da effettuare sulle connessioni a spostamento di isolante, sono stati dettagliatamente descritti nella sezione 4.5 del precedente capitolo. In questa sezione si vuole focalizzare l'attenzione sui metodi di misura e sugli strumenti necessari per effettuare al meglio le Prove di Tipo elettrico.

5.3.1 Misura di resistenza a 4 terminali

La prova elettrica più significativa è sicuramente la misura della resistenza di contatto. Tale resistenza deve essere bassa (dell'ordine di alcuni milliohm) e deve rimanere il più possibile costante nel tempo. Ci sono diversi metodi per misurare le piccole resistenze (metodi di zero, volt-amperometrica a 2 terminali, ecc.); le Normative Internazionali e gli standard industriali prescrivono che la misura della resistenza di contatto di una connessione IDC venga effettuata con uno schema a 4 terminali.

In una misura di resistenza classica, realizzata con due terminali (vedi **Figura 5.9**), si ha sempre il contributo delle *resistenze di collegamento* e delle *resistenze di contatto nelle connessioni degli strumenti*, le quali devono essere sottratte dal valore di resistenza misurato. Le resistenze di collegamento sono le resistenze dei fili impiegati per comporre il circuito di misura. Le resistenze di contatto, che si presentano nei punti di connessione del circuito, dipendono dalla superficie di contatto, dalla pressione tra le parti in contatto, dal tipo di lavorazione superficiale e dalla purezza delle parti in contatto; tali resistenze hanno inoltre un comportamento non lineare in funzione della corrente.

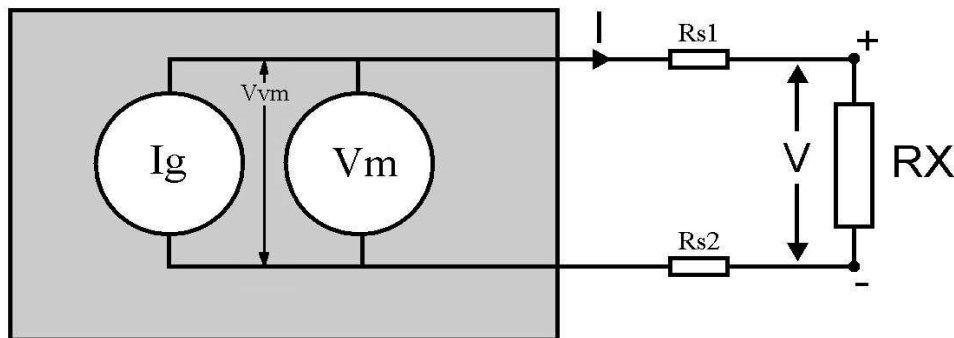


Figura 5.9 – Misura di resistenza a 2 terminali.

In Figura 5.9 abbiamo un misuratore di resistenza generico (ad esempio un *multimetro*) racchiuso nel rettangolo. Esso è composto da un generatore di corrente “ I_g ” e da un voltmetro “ V_m ”. La corrente I generata da “ I_g ” scorre attraverso la nostra resistenza incognita R_x di piccolo valore (si intendono piccole resistenze quelle di valore inferiore a 1 ohm). Misurando la tensione ai suoi capi e applicando la semplice *legge di Ohm* ($R_x = V/I$) otteniamo il valore della nostra resistenza incognita R_x . Al valore di resistenza misurato si devono però togliere le resistenze dei collegamenti (R_{s1} , R_{s2}) e le resistenze di contatto dei due morsetti di collegamento.

Un modo per ovviare il problema delle resistenze parassite è lo schema di misura a 4 terminali (vedi **Figura 5.10**).

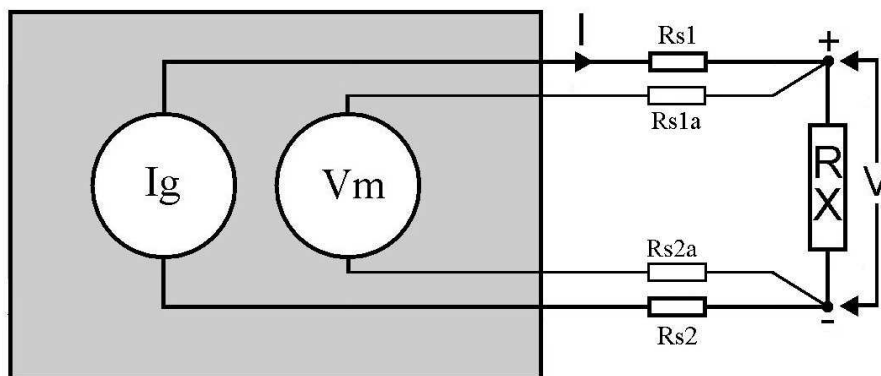


Figura 5.10 – Misura di resistenza a 4 terminali.

Possiamo notare che in questa configurazione il voltmetro ora misura la tensione a valle della resistenza dei cavi, direttamente a contatto della nostra R_x . Teoricamente ci sarebbero anche le resistenze R_{s1a} e R_{s2a} da considerare, ma trattandosi di frazioni di ohm o al massimo qualche ohm in serie alla resistenza di ingresso del voltmetro, che anche nel peggiore dei casi è di diverse decine di kiloohm, l'errore risultante è trascurabile. Collegando inoltre i morsetti voltmetrici internamente a quelli amperometrici è possibile evitare anche il contributo delle resistenze di contatto delle connessioni. Le resistenze di contatto dei morsetti voltmetrici hanno un effetto tanto minore quanto più elevata è la resistenza del circuito voltmetrico (sono quindi resistenze molto piccole).

Nello specifico (vedi paragrafo 4.5.2), la misura della resistenza di contatto per le connessioni IDC viene effettuata fornendo un'alimentazione secondo norma ed eseguendo le connessioni voltmetriche con appositi puntali in zone che non siano influenzate dai contatti amperometrici.

5.3.2 Strumenti per le misure elettriche

In un laboratorio adibito alla realizzazione di misure elettriche sono fondamentali le *sorgenti di alimentazione*. Le sorgenti di tensione continua possono essere costituite da batterie di accumulatori, quando sono necessarie tensioni di valore costante, prive di irregolarità e funzionanti per tempi limitati. Anche il raddrizzamento della tensione di rete a frequenza industriale fornisce un ottimo mezzo per disporre economicamente di potenze, anche rilevanti, in corrente continua. L'impiego di raddrizzatori a semiconduttore permette costruzioni semplici e compatte; la regolazione può essere fatta, entro certi limiti, sia agendo sulla tensione alternata di alimentazione, sia parzializzando la conduzione (se i raddrizzatori sono comandabili come innesco) a scapito però di un elevato contenuto di armoniche. Particolarmente compatti sono gli *alimentatori switching*, dove la tensione di rete viene prima raddrizzata e poi convertita ad alta frequenza per poterne controllare successivamente il valore.

Nelle prove elettriche da effettuare sulle connessioni a spostamento di isolante vengono utilizzati degli alimentatori elettronici, i quali possono operare sia come generatori a tensione costante sia come generatori a corrente costante. In alcune prove elettriche, come la prova di carico di corrente ciclico e di carico elettrico e temperatura, sono previsti dei cicli di funzionamento che possono far durare la prova molte ore. In questo caso è necessario che la sorgente sia programmata per alimentare automaticamente il circuito di misura seguendo i cicli di funzionamento.

Nella misura della resistenza di contatto (piccola resistenza) sono necessari, oltre all'alimentatore, il voltmetro per rilevare la tensione ai capi del contatto (dotato di appositi puntali) e l'amperometro per rilevare la corrente che attraversa, a questo proposito vengono utilizzati due strumenti digitali. L'incertezza sul valore di resistenza ricavato dal rapporto fra tensione e corrente misurate è pari alla somma delle incertezze proprie dei due strumenti.

Nel paragrafo 4.5.3 è stata invece descritta la misura della resistenza di isolamento (grande resistenza) per le connessioni elettriche a spostamento di isolante. Lo strumento necessario per la misura è il megaohmetro digitale, il quale è in grado di misurare resistenze di isolamento dell'ordine delle centinaia di gigaohm e può essere impiegato anche con elevate tensioni di prova (fino a 1 kV).

Un altro strumento necessario per le prove elettriche è il *Contact Chatter Detector*, il quale è in grado di verificare la continuità elettrica dei circuiti di misura e di eseguire la prova di perturbazione di contatto (vedi paragrafo 4.5.1) in maniera immediata. Questo strumento non è altro che un alimentatore in grado di recepire le brevi interruzioni di un circuito (interruzioni dell'ordine dei millisecondi o dei microsecondi). Ogni connettore viene alimentato con una certa tensione e corrente predefinita (secondo normativa) e collegato ad un canale del dispositivo, il quale segnala con l'accensione di un led luminoso l'eventuale interruzione di contatto. Questo strumento viene utilizzato durante le prove di vibrazione e di piegatura del filo.

Le prove elettriche da effettuare sui connettori in materiale plastico necessitano di particolari dispositivi. Per quanto riguarda la prova di resistenza alle correnti superficiali l'apparecchiatura necessaria è già stata descritta nel paragrafo 4.7.2. La verifica della rigidità dielettrica richiede un'apparecchiatura abbastanza simile alla prova appena citata. La strumentazione è costituita infatti da due elettrodi, i quali possono essere anche ad uso manuale, che permettono di applicare la tensione di prova nei punti specificati (vedi paragrafo 4.7.2). Entrambi questi strumenti, utilizzati da INARCA, sono prodotti da *Volta S.p.a.*

Si ricordi infine che la prova di carico elettrico e temperatura (vedi paragrafo 4.5.5) richiede di sottoporre i campioni a delle particolari condizioni ambientali. I dispositivi utilizzati per queste esigenze sono le camere climatiche, le quali verranno descritte nella sezione successiva.

5.3.3 Termocoppie

Le prove elettriche di carico di corrente ciclico (vedi paragrafo 4.5.4), di carico elettrico e temperatura (vedi paragrafo 4.5.5) e di portata di corrente (vedi paragrafo 4.5.4) richiedono delle misure di temperatura. In questo paragrafo sarà definito il principio di funzionamento delle termocoppie, le quali rappresentano il sensore di temperatura utilizzato nelle prove elettriche relative alle connessioni elettriche a spostamento di isolante.

Si considerino due fili conduttori di metalli diversi uniti ad entrambe le estremità (*giunzioni*) in modo da formare un circuito chiuso. Se una delle due giunzioni viene riscaldata, accade che una corrente elettrica fluisce con continuità nel circuito dando luogo a quello che si chiama *effetto Seebeck*. Un circuito che incorpori sia gli effetti termici sia quelli elettrici prende il nome di *circuito termoelettrico*, mentre un dispositivo che funzioni utilizzando un tale circuito è detto *dispositivo termoelettrico*.

L'effetto Seebeck ha due principali applicazioni: la misurazione della temperatura e la produzione di energia elettrica. Se il circuito termoelettrico viene interrotto la corrente non può circolare e si può misurare con un voltmetro la forza elettromotrice o la tensione elettrica che si genera nel circuito (vedi **Figura 4.11**). Poiché la tensione risulta essere funzione della differenza di temperatura tra le due giunzioni, oltre che dei materiali costituenti i due conduttori (tramite il *coefficiente di Seebeck*), ne consegue che misure di temperatura possono essere effettuate mediante semplici misure di tensione elettrica. In tal caso, i due conduttori utilizzati per misurare la temperatura con questo sistema costituiscono una termocoppia, che attualmente è il sensore di temperatura più versatile e più utilizzato. Per esempio, una comune termocoppia è costituita da un filo di rame e uno di costantana e genera una tensione elettrica di circa 40 μV per grado Celsius di differenza di temperatura tra le due giunzioni. I campi di impiego delle termocoppie vanno da $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ fino a circa $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. In ambito commerciale sono denominate da una lettera e spesso esiste anche una codifica dei colori degli accessori e degli isolamenti dei singoli fili; per questi valgono specifiche rigide per quanto riguarda la purezza della composizione. In **Tabella 5.16** sono definite le sensibilità dei principali tipi di termocoppia:

Termocoppia Tipo	Coeff. di Seebeck $\mu\text{V/K}$	Sens. per $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ μV
E Chromel-Costantana	61	6,1
J Ferro - Costantana	52	5,2
K Chromel - Alumel	40	4,0
R Pt - Pt con 13% Rodio	6	0,6
S Pt - Pt con 10% Rodio	6	0,6
T Rame - Costantana	41	4,1

Tabella 5.16 – Sensibilità a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ dei diversi tipi di termocoppia.

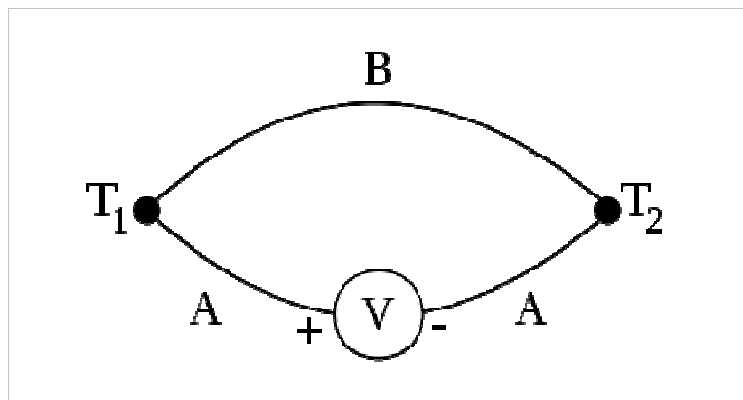


Figura 5.11 – Rappresentazione circuitale di una termocoppia.

5.4 Strumentazione per prove climatiche e condizioni ambientali

In questa sezione si vuole definire la strumentazione necessaria per effettuare le prove climatiche che riguardano le connessioni elettriche a spostamento di isolante. Si vuole inoltre ribadire l'importanza delle condizioni ambientali in relazione a tutte le misure da effettuare.

5.4.1 Camere climatiche

Praticamente tutte le Prove di Tipo climatico richiedono il trasferimento dei campioni in apposite camere climatiche in grado di simulare specifiche condizioni ambientali che si potrebbero presentare nel corso del funzionamento, dello stoccaggio e del trasporto dei campioni stessi. Nello specifico, INARCA utilizza delle camere climatiche prodotte da ACS di *Angelantoni Industrie* che è un'azienda leader nella produzione di camere per test di tipo climatico. Sono disponibili camere climatiche per ogni esigenza, in grado quindi di eseguire al meglio tutte le prove climatiche prescritte dalle Normative Internazionali.

La prova dei cambi rapidi di temperatura (detta anche prova di *shock termico*) necessita di una camera climatica che funzioni sia in condizioni di elevata temperatura che in condizioni di bassa temperatura; la camera deve garantire soprattutto il trasferimento dei campioni da una condizione climatica all'altra in tempi brevi. A questo proposito viene utilizzata una camera della serie ACS CST 84/2T (vedi **Figura 5.12**), la quale è una camera di shock termico aria-aria dotata di 2 scompartimenti orizzontali separati, uno per il caldo ed uno per il freddo. La capacità di questa camera può arrivare fino a 1000 litri. Il sistema di controllo basato su μ PLC è composto da un'interfaccia utente con tastiera e display, e permette cicli di test predefiniti per un funzionamento in automatico. Le principali caratteristiche di queste camere climatiche sono:

- uso di refrigeranti ecologici;
- porte provviste di uno speciale sistema automatico che all'apertura della porta permette di bloccare immediatamente il test in corso;
- tempo di trasferimento del cestino contenente i campioni da testare da un compartimento all'altro inferiore a 10 secondi;
- sistema di ricircolazione che assicura una perfetta distribuzione dell'aria all'interno della camera;

- tempi di recupero e stabilizzazione rapidi durante i trasferimenti caldo-freddo e freddo-caldo grazie alla bassa inerzia termica e all'assenza di calore irradiante all'interno della camera;
- velocità e linearità ad alta risposta nel range che va dai -100°C ai $+200^{\circ}\text{C}$, grazie ad un potente sistema di termoregolazione;

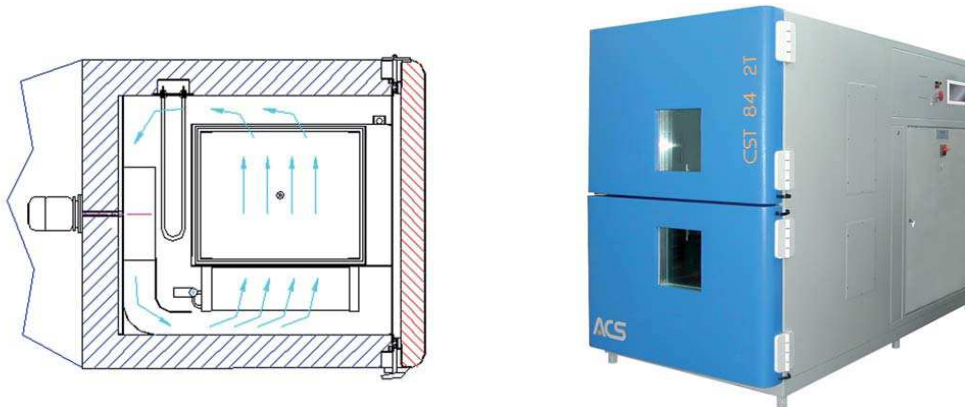


Figura 5.12 – Camera climatica ACS CST 85/2T.

La prova di carico elettrico e temperatura definita nel paragrafo 4.5.5 prevede l'utilizzo della camera climatica succitata, quindi tale camera deve essere progettata in modo da poter portare l'alimentazione elettrica ai componenti durante il condizionamento termico.

Altre prove climatiche significative, come la prova di caldo umido ciclico oppure la prova di resistenza all'umidità per i materiali plastici, prevedono di sottoporre i campioni a dei gradi di umidità relativa controllati e molto elevati. A questo proposito vengono utilizzate apposite camere climatiche, sempre prodotte da Angelantoni Industrie, della serie ACS VPT con una capacità che va dai 25 ai 250 litri. Tali camere possono essere programmate per lavorare sia con vapore saturo sia con vapore surriscaldato.

5.4.2 Camere per prove di corrosione

Un'ulteriore condizione richiesta nelle prove climatiche per le connessioni IDC è quella di simulare un'atmosfera corrosiva. Viene quindi utilizzata una camera della serie DCTC prodotta da Angelantoni Industrie (vedi **Figura 5.13**), questo prodotto risulta estremamente affidabile e permette di studiare i comportamenti dei provini sottoposti a test molto incisivi. La camera è completamente realizzata in materiale plastico anticorrosivo, il quale assicura la massima resistenza e una perfetta tenuta nel tempo. I due modelli disponibili, "base" e "programmabile", differiscono nei loro sistemi di controllo: la versione "base" è caratterizzata da un sistema di controllo manuale, mentre la versione "programmabile" è attrezzata con un sistema di controllo basato su μPLC , completo di tastiera a 5 funzioni e di un indicatore che consente di condurre i test in modo automatico. Le principali caratteristiche di questa camera sono:

- dosaggio ad alta definizione e spruzzo ad alta precisione della soluzione salina (atomizzazione);
- sistema automatico per l'abbattimento dei fumi nel compartimento test (versione "programmabile");
- cappa completamente trasparente con apertura servoassistita e possibilità di blocco automatico del test in corso;
- manometro con valvola regolatrice per il controllo del flusso d'aria compressa;
- flussometro per la lettura del flusso della soluzione salina.



Figura 5.13 – Camera DCTC per prove di corrosione.

5.4.3 Definizione delle condizioni ambientali

Dopo aver definito gli strumenti necessari per le prove climatiche verranno descritti i metodi utilizzati per verificare le condizioni ambientali. La verifica delle condizioni ambientali è molto importante soprattutto quando si eseguono le Prove di Tipo elettrico. Tale verifica invece non risulta fondamentale per le prove climatiche perché i campioni vengono testati all'interno di ambienti termicamente condizionati e quindi con caratteristiche molto diverse rispetto all'ambiente normale. Si è scelto comunque di trattare il problema della valutazione delle condizioni ambientali in questa sezione.

Molte caratteristiche degli apparecchi elettrici e quindi anche dei relativi contatti risultano influenzate dai valori di temperatura, pressione o, in generale, dallo stato dell'atmosfera circostante; basta pensare alla forte dipendenza della resistenza elettrica con la temperatura. In un laboratorio di prova risulta quindi molto importante rilevare almeno la temperatura dell'ambiente che è la grandezza che ha, generalmente, maggior influenza sul comportamento sia degli strumenti che degli oggetti in prova. Tale misura di temperatura può essere effettuata con un semplice termometro al mercurio o a dilatazione. Avere una misura precisa della temperatura ambiente permette di valutare con precisione le sovraturetemperature, le resistenze di contatto dei campioni e i possibili scostamenti anomali nei risultati delle misure. Le eventuali misure di pressione ed umidità servono invece per avere una precisa e completa conoscenza del tipo di ambiente in cui vengono effettuate le prove.

E' buona norma che ogni rapporto finale di prova contenga la valutazione delle condizioni ambientali effettuata nel laboratorio di prova. La pressione e l'umidità atmosferica sono, insieme alla temperatura, le grandezze fisiche meglio definite e misurabili per rappresentare le condizioni ambientali.

Misura della pressione atmosferica: La pressione atmosferica è, fra le condizioni ambientali, la più semplice da definire e misurare, in quanto essa è praticamente uniforme in un ambiente, anche di dimensioni considerevoli, in assenza di rilevanti moti di aria.

La misura si esegue con un *barometro*, che può essere del tipo a mercurio o metallico. Il barometro a mercurio è formato da un tubo di vetro verticale, chiuso all'estremità superiore, in cui è fatto il vuoto; esso comunica, all'altro estremo, con una vaschetta contenente mercurio (vedi **Figura 5.14**); la pressione atmosferica agente sulla vaschetta fa equilibrio al peso della colonna di mercurio. Per misure di precisione l'altezza della colonna di mercurio deve essere ridotta a 0 °C; la correzione (- 0,16‰ °C) risulta di 2 o 3 mm, ai normali valori di pressione e temperatura.

Ricordiamo che la pressione, espressa in mmHg, può essere riportata in *unità SI* (Pascal), moltiplicandone il valore per 133,3 (760 mmHg = 101,3 kPa).

I barometri metallici si basano invece sulla misura della deformazione di un recipiente metallico, in cui è stato fatto internamente il vuoto; la loro precisione è limitata ma, in generale, sufficiente per le misure correnti.

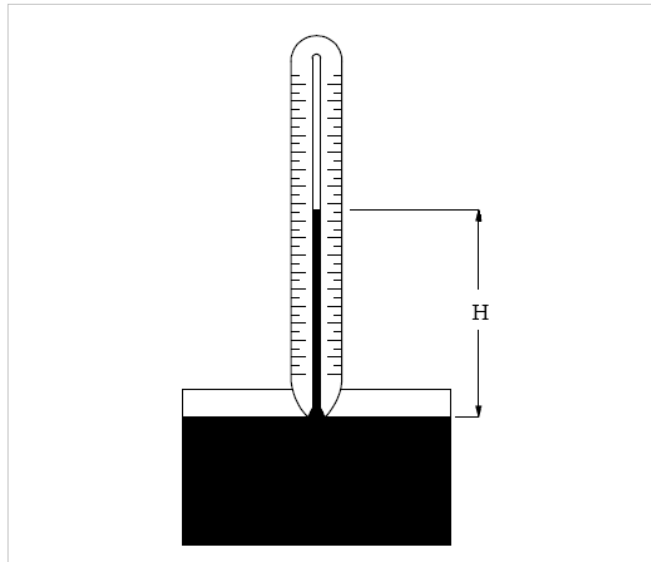


Figura 5.14 – Rappresentazione schematica di un barometro a mercurio.

Misure di umidità: Nell'aria atmosferica è sempre presente una certa quantità di vapor d'acqua, quantità che può essere espressa dalla massa di vapore per metro cubo di aria, in determinate condizioni di temperatura e di pressione (*umidità assoluta*). Torna spesso comodo rapportare tale valore m alla massa m_0 che si troverebbe nello stesso volume d'aria in condizioni di saturazione; il valore di m_0 può essere determinato in funzione della sola temperatura ambiente, mediante l'uso di apposite tavole o diagrammi (vedi **Figura 5.15**); l'umidità relativa u , espressa in percento, è perciò data dalla seguente espressione:

$$u = \frac{m}{m_0} \cdot 100 \quad (5.2)$$

Per la misura di m si possono usare *igrometri* (o *psicrometri*) a condensazione o ad assorbimento. Le misure sono sempre piuttosto delicate, infatti la presenza stessa dell'operatore può alterare lo stato d'umidità intorno all'apparecchio di misura. Nel caso vi siano differenze di temperatura fra un punto e l'altro dell'ambiente, per effetto ad esempio di sorgenti di calore o di pareti fredde, le condizioni di umidità possono variare sensibilmente da un punto all'altro. Particolarmente difficile è la realizzazione di condizioni con umidità molto alta (sopra il 90%), soprattutto se si impone la condizione che non vi sia condensazione, infatti bastano differenze di temperatura di pochi decimi di grado perché questo sia vanificato. Di norma, durante una prova, occorre fare attenzione affinché il componente in prova non abbia temperatura molto diversa, in particolare più bassa, dell'ambiente circostante, per evitare su di esso condensazioni d'umidità.

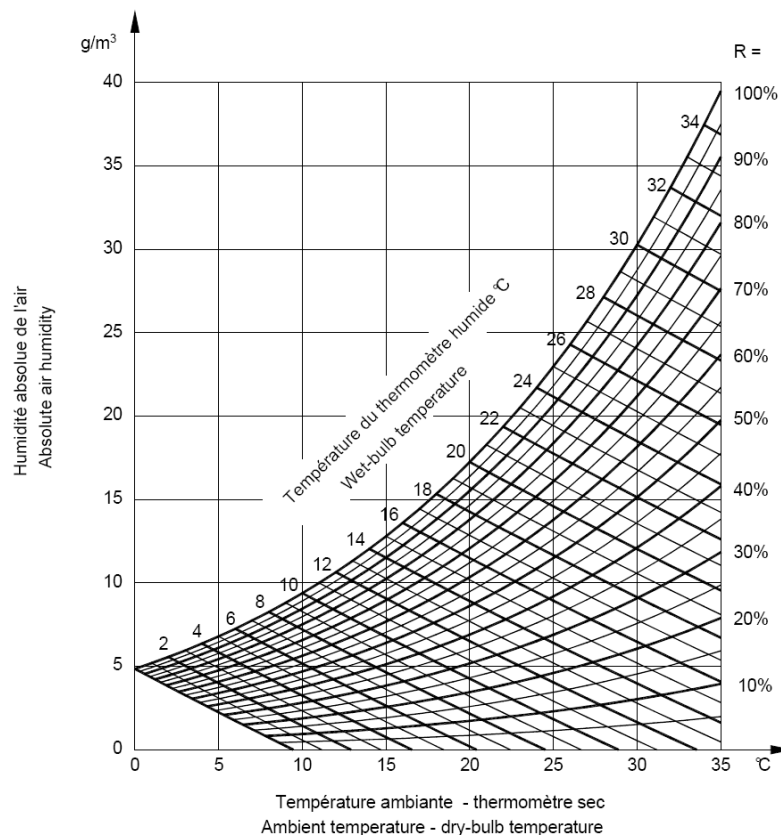


Figura 5.15 – Diagramma che rappresenta i valori di umidità assoluta in funzione della temperatura ambiente.

Il principio degli *igrometri a condensazione* è quello di misurare l'abbassamento di temperatura necessario alla saturazione e condensazione del vapore acqueo presente nell'aria ambiente. Questo tipo di igrometro è preciso ma di uso piuttosto delicato e viene utilizzato praticamente solo per la taratura di altri strumenti.

Più semplice, anche se meno preciso, è l'igrometro a “calza”; in esso si hanno due termometri (vedi **Figura 5.16**) uno con il bulbo libero, l'altro coperto da una calza di tessuto, parzialmente immersa in acqua, che lo mantiene bagnato. Investito da una corrente d'aria, il termometro a bulbo bagnato indica una temperatura t_b inferiore a quella t_a del termometro asciutto, per effetto dell'evaporazione dell'acqua dalla calza. Dai valori di t_a e della differenza $(t_a - t_b)$, in base ad alcune ipotesi semplificative, è possibile ricavare il valore dell'umidità contenuta nella corrente d'aria che investe i termometri. I valori sono dati in tabelle, per i singoli apparecchi.

Con buona approssimazione i valori di umidità assoluta h si possono ottenere dalle letture dei termometri a bulbo asciutto e bagnato t_a e t_b e del barometro b (pressione espressa in kPa), usando la seguente formula semplificata:

$$h = \frac{1322 \cdot \exp\left(\frac{17,3 \cdot t_b}{237 + t_b}\right) - 1,4 \cdot (t_a - t_b) \cdot b}{273 + t_b} \quad (5.3)$$

Si può partire anche dall'umidità relativa HR e, nota la temperatura t , si può ottenere l'umidità assoluta con la seguente formula:

$$h = \frac{6,11 \cdot HR \cdot \exp^{\frac{17,3 \cdot t_b}{237 + t_b}}}{0,4615 \cdot (273 + t)} \quad (5.4)$$

Molta importanza, sui valori indicati, può avere la velocità della corrente d'aria che deve essere mantenuta al di sopra di un limite minimo (in genere 2 m/s) con l'ausilio di ventilatori. Il dispositivo può essere reso più compatto se la sonda contiene, anziché due termometri a mercurio, come in Figura 5.16, due trasduttori elettrici di temperatura.

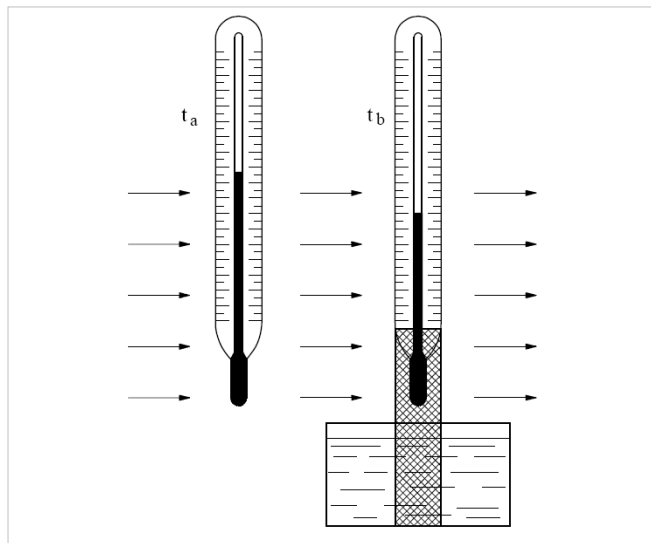


Figura 5.16 – Rappresentazione schematica di un igrometro a condensazione.

Assai diffusi nell'uso pratico sono gli *igrometri ad assorbimento*, che si basano sull'allungamento che delle fibre subiscono per effetto dell'umidità relativa (igrometri a “capello”). L'allungamento, opportunamente amplificato con dispositivi meccanici, comanda il movimento dell'indice su una scala graduata e tarata.

Conclusioni

In questo lavoro sono state presentate le connessioni elettriche a spostamento di isolante (IDC) ed analizzate tutte le Normative Internazionali (IEC) dedicate a questa tecnologia di connessione. Le norme IEC definiscono una serie di prove specifiche che devono essere effettuate sui connettori IDC. Per integrare la trattazione dell'argomento sono state studiate anche una serie di altre norme dettate da alcuni importanti Enti di Certificazione Industriale (UL e VDE) e da Tyco Electronics: l'azienda leader mondiale nella progettazione e nella produzione di connettori elettrici impiegati nelle più svariate applicazioni. Molte delle prove prese in considerazione, soprattutto quelle relative ai componenti in plastica, si basano anche su specifiche tecniche interne di INARCA. In ogni caso, tutti gli standard dettati dagli Enti di Certificazione Industriale, da Tyco e le specifiche tecniche di INARCA, si basano sulle norme IEC, a queste norme però vengono aggiunte una serie di prove e prescrizioni dettate dall'esperienza professionale. Quindi per proporre sul mercato dei connettori IDC affidabili e di qualità è necessario prendere in considerazione sia le norme IEC, sia gli standard relativi agli Enti di Certificazione Industriale ed alle aziende leader nel settore dei connettori elettrici.

Le Normative Internazionali IEC sono fondamentali per assicurare alle aziende (nel nostro caso aziende che producono elettrodomestici, motori elettrici, schede elettroniche, ecc.) ed ai consumatori dei prodotti elettrici ed elettronici di qualità, realizzati a "regola d'arte". Queste norme definiscono infatti una *valutazione di conformità* dei prodotti da proporre sul mercato (una serie di Prove Tecniche nel caso dei connettori IDC). La valutazione della conformità si riferisce ad una qualsiasi attività (prova di collaudo) che determina se un prodotto o servizio è conforme alle prescrizioni contenute in un disciplinare. Le norme IEC hanno anche un ruolo significativo per quanto riguarda la riduzione dei costi e degli ostacoli agli scambi commerciali. Tali norme contribuiscono infatti a ridurre le "barriere" commerciali causate dai diversi criteri di certificazione adottati in ogni Paese. Le Normative Internazionali IEC contribuiscono inoltre a rimuovere notevoli ritardi, nel caso si debbano effettuare prove multiple. Ciò consente alle imprese di ridurre i costi e di entrare nei mercati più velocemente con

i propri prodotti. A fronte di queste considerazioni, se i prodotti elettrici ed elettronici (nel nostro caso le connessioni IDC) vengono realizzati e collaudati secondo le norme IEC, i consumatori possono essere certi che essi sono sicuri da utilizzare, sono realizzati rispettando l'ambiente ed hanno un alto grado di affidabilità.

Dopo aver spiegato l'importanza di realizzare un prodotto elettrico ed elettronico secondo le norme IEC, sarà definito lo scopo degli standard proposti dagli Enti di Certificazione Industriale. Con il termine specifica, o standard, si fa riferimento ad una descrizione tecnica delle caratteristiche che un prodotto, un servizio o un oggetto è tenuto ad assolvere. La certificazione non viene rilasciata né dal produttore né dal consumatore di un certo bene o servizio ma da una "terza parte" (Ente di Certificazione) che svolge una serie di prove e verifiche al fine di valutare che il prodotto sia affidabile e che soddisfi le aspettative in termini di prestazioni, sicurezza, efficienza, qualità e durata. A questo proposito gli Enti di Certificazione redigono una serie di specifiche tecniche che le aziende produttrici devono seguire per ottenere le certificazioni. Quando un'azienda vuole garantire che uno specifico prodotto sia rispondente a norme tecniche tradizionali, indicanti requisiti dimensionali o prescrizioni in termini di prestazione e sicurezza si parla di *Certificazione di Prodotto* (come ad esempio la *marcatura CE*). Quando un'azienda vuole invece raggiungere un sistema di assicurazione di qualità, atto a garantire la soddisfazione dei bisogni dell'utilizzatore, si parla di *Certificazione di Qualità*. INARCA richiede dagli Organi di Certificazione (VDE, UL, ecc.), per le connessioni elettriche a spostamento di isolante, proprio quest'ultimo tipo di certificazione. L'introduzione di una Politica di Qualità in un'azienda, permette di ottenere molteplici vantaggi, quali distinguersi dalla concorrenza e migliorare i propri processi, permette, in taluni casi, di assolvere ad un obbligo legislativo. La Certificazione, molto spesso viene intesa come un obbligo da assolvere o un iter burocratico da seguire con l'obiettivo del rilascio di un attestato di conformità, da poter esibire e da utilizzare come punto di forza per la propria campagna pubblicitaria.

La certificazione, per un'azienda, è un'occasione per imparare a conoscersi in modo approfondito, compiendo un percorso di crescita mirato a valorizzare le proprie risorse e a migliorare i processi aziendali; è un'opportunità per condividere un flusso informativo costante ed aggiornato e per avvalersi di servizi innovativi. I vantaggi che si profilano sono i seguenti:

- trasparenza dell'organizzazione;
- maggiore fiducia da parte della clientela;
- stimolo al miglioramento continuo;
- standardizzazione dei processi;
- maggiore efficienza interna;
- riduzione dei costi dovuti alla diminuzione degli sprechi;
- maggiore competitività sul mercato;
- risoluzione di non conformità mediante un continuo monitoraggio delle attività aziendali;
- valorizzazione della propria azienda.

In uno scenario in continua evoluzione, sia dal punto di vista del mercato che delle innovazioni scientifiche e tecnologiche, per l'azienda la certificazione non deve rappresentare solo un traguardo da raggiungere, ma un punto di partenza verso un miglioramento continuo.

Oltre alle norme IEC ed agli standard industriali presentati dagli Enti di Certificazione, sono state analizzate anche le specifiche tecniche aziendali di INARCA e di Tyco Electronics. Tali specifiche sono state ritenute fondamentali per definire in modo più completo i criteri di prova che certificano la qualità e l'affidabilità di una connessione elettrica a spostamento di isolante.

Le Prove Tecniche che sono state descritte in questo lavoro sono il frutto quindi dell'analisi delle Normative Internazionali IEC, degli standard proposti dagli Organi di Certificazione e delle specifiche tecniche di INARCA e Tyco Electronics. Gli standard industriali che sono stati presi in considerazione

sono quelli elargiti dagli Underwriter Laboratories (UL) e dal VDE, i quali rappresentano gli Enti di Certificazione principali a cui si appoggia INARCA per ottenere l'omologazione dei propri prodotti. Molte delle prove descritte sono contemplate da tutti gli enti succitati, possono però essere oggetto di severità diverse. Nella presentazione dei procedimenti di prova è stata sempre indicata la fonte normativa di provenienza e la severità relativa a ciascuna misura. In alcune prove si è scelto però, in modo cautelativo, di riportare solamente i valori di severità più stringenti. Per esempio, per la misura della resistenza di contatto sono stati riportati i valori contenuti nelle norme IEC, in quanto sono più bassi rispetto a quelli contenuti negli altri standard.

E' giusto far presente che le prove relative ai componenti in plastica sono state descritte solamente sulla base delle specifiche tecniche di INARCA, per non dover prendere in considerazione tutta una serie di altre norme riguardanti un argomento non correlato ai componenti elettromeccanici. Per quel che riguarda invece le altre prove non sono state omesse alcune prescrizioni significative.

A fronte di questa analisi, è possibile affermare che i procedimenti di prova riportati in questo lavoro rappresentano una completa guida pratica che può essere utile ad una qualsiasi azienda che produce connettori elettrici.

Bibliografia

INARCA S.p.a. (capitolo 1):

INARCA S.p.a., “Catalogo prodotti 2009”, 2009, www.inarca.it.

Gianni Piovesan, “50 anni di lavoro”, 2008.

CSQ, “Certificato ISO 9001”, 2008.

IQNET, “Certificato ISO 9001”, 2008.

CSQ, “Certificato ISO 14001”, 2004.

IQNET, “Certificato ISO 14001”, 2004.

Teoria della connessione elettrica (capitolo 2):

G. Concheri, A. Tosetti, *Elementi di Disegno e Normativa*, Libreria Cortina – Padova, 1996.

M. Braunovic, N. K Myshkin, V. V Konchits, *Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology*, Hardcover, 2006.

- Ragnar Holm, *Electrical contacts: Theory and Application*, Paperback, 2010.
- A. Manente, “Le connessioni elettriche prive di saldatura: una tecnologia innovativa ad alta efficienza”, Università degli Studi di Padova – Tesi di Laurea Specialistica, Settembre 2009.
- G. Marchesi, *Materiali per l’Ingegneria Elettrica*, Libreria Progetto – Padova, 1999.
- “Parametri fondamentali della fisica dei connettori”, Università di Trento, www.ing.unitn.it.
- P. van Dijk, “Critical aspects of electrical connector”, Proc. ICEC Conf., 2002.
- P. van Dijk, “Contact spots”, Proc. ICEC Conf., 2000.
- R.S. Timsit, “The potential distribution in a constricted cylinder”, J Phys D, 1977.
- H. Aichi, N. Tahara, “Analysis on the constriction resistance of the electric contact by the contact model using the electrolyte bath”, Proc. ICEC Conf., 1994.
- M. Nakamura, “Constriction resistance of conducting spots by the boundary element method”, IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufacture Tech, 1993.
- J.A. Greenwood, “Constriction resistance and the real area of contact”, Brit. J. Appl. Physics, 1996.
- M. Nakamura, I. Minowa, M.Kanno, “Conductance of a contact interface depending on the location and distribution of conducting spots”, Proc. ICEC Conf., 1986.
- M. Nakamura, I. Minowa, “Film resistance and constriction effect of current in a contact interface”, IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufacture Tech, 1989.
- J.B.P. Williamson, J.A. Greenwood, “The constriction resistance between electroplated surfaces”, Pergamon Press, Oxford, 1989.
- G. Horn, “Test method for cleanliness of technical contact surfaces by an automatic measurement device for contact resistance”, Proc. ICEC Conf., 1976.
- J.B.P. Williamson, J.A. Greenwood, “Electrical conduction in solids II. Theory of temperature dependent conductors”, Proc. Royal Society, 1958.
- R.S. Timsit, “On the evaluation of contact temperature from potential-drop measurements”, IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufacture Tech, 1983.
- Robert S. Mroczkowski, Connector design/Materials and connector reliability, AMP technical paper, Harrisburg, 1993.
- Robert D. Malucci, “Fretting corrosion degradation, threshold behavior and contact instability”, IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufacture Tech, 2003.

Robert S. Mroczkowski, “A perspective on connector reliability”, Holm conference on electrical contacts, 2004.

Ji Wu, Michael G. Pecht, “Contact resistance and fretting corrosion of lead-free alloy coated electrical contacts”, IEEE Trans. Comp. Packaging Tech, 2006.

P. van Dijk, A.K. Rudolphi, D. Klaffke, “Investigation on electrical contacts subjected to fretting motion”, Proc. ICEC Conf., 2002.

T. Liskiewicz, A. Neville, S. Achanta, “Impact of corrosion on fretting damage of electrical contacts”, IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufacture Tech, 2006

Robert S. Mroczkowski, *Electronic Connector Handbook*, McGraw-Hill – New York, 1998.

S. Ogihara, K. Takata, Y. Hattori, K. Yoshida, “Mechanical analysis of the crimping connection”, Proc. ICEC Conf., 2006.

Connessioni elettriche a spostamento di isolante (capitolo 3):

INARCA S.p.a., “Catalogo prodotti 2009”, 2009, www.inarca.it.

A. Manente, “Le connessioni elettriche prive di saldatura: una tecnologia innovative ad alta efficienza”, Università degli Studi di Padova – Tesi di Laurea Specialistica, Settembre 2009.

M. Braunovic, N. K Myshkin, V. V Konchits, *Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Tecnology*, Hardcover, 2006.

Stefan Jorgens, “Insulation Displacement technology as technically equivalent and more cost-effective alternative compared to crimping technology”, Proc. ICEC Conf., 2004 , Seattle.

Stefan Jorgens, Hennig Taschke, “Application of the Finite-Element-Analysis for the calculation of an insulation displacement process”, Proc. ICEC Conf., 2005 , Chicago.

L. Lam, J.W. McBride, C. Maul, J.K. Atkinson, “Displacement measurements at the connector contact interface employing a novel thick film sensor”, Proc. ICEC Conf., 2005 , Chicago.

Bob Nuckolls, “Anatomy of a good solderless terminal connection”, AeroElectronic-Connection.

Analisi delle Normative Internazionali (capitolo 4):

Inarca S.p.a, “Glossario Principali Enti di Normazione”, Marzo 2007.

International Electrotechnical Commission, www.iec.ch, 2011.

Comitato Elettrotecnico Italiano, p.i. Associazione, www.ceiuni.it, 2011.

European Committee for Electrotechnical Standardization, www.cenelec.eu, 2011.

Underwriters Laboratories, p.i. Certifications and Standards, www.ul.com, 2011.

Verband Deutscher Elektrotechniker, p.i. Standard and Testing, www.vde.com, 2011.

Tyco Electronics, p.i. Connectors & Connector Components, www.tycoelectronics.com, 2011.

Pubblicazione CEI EN 61984: Connettori – Prescrizioni di sicurezza e prove, Aprile 2010.

Pubblicazione IEC 512-1: Connettori per apparecchiature elettroniche – Prove e misure, Parte 1: Generalità, Ottobre 2001.

Pubblicazione IEC 512-2: Sezione 1 – Esame generale, Prova 1a: Esame visivo, Prova 1b: Esame delle dimensioni e della massa, Ottobre 2003.

Pubblicazione IEC 512-2: Sezione 2 – Prove di continuità elettrica e resistenza di contatto, Prova 2a: Resistenza di contatto – Metodo millivolt metrico, Prova 2b: Resistenza di contatto – Metodo della corrente di prova specificata, Prova 2c: Variazione della resistenza di contatto, Prova 2e: Disturbi di contatto, Ottobre 2003.

Pubblicazione IEC 512-2: Sezione 3 – Prove di isolamento, Prova 3a: Resistenza di isolamento, Ottobre 2003.

Pubblicazione IEC 512-2: Sezione 4 – Prove di tensione applicata, Prova 4a: Tensione di tenuta, Ottobre 2003.

Pubblicazione IEC 512-4: Prove di sollecitazioni dinamiche, Prova 6d: Vibrazioni, Luglio 2003.

Pubblicazione IEC 60068: Prove ambientali, Parte 2-6: Prove – Prova F_C: Vibrazioni (sinusoidali), Novembre 2009.

Pubblicazione IEC 512-5: Sezione 3 - Prove di durata, Prova 9b: Carico elettrico e temperatura, Gennaio 2003.

Pubblicazione IEC 512-6: Sezione 1 – Prove climatiche, Prova 11a: Sequenza climatica, Prova 11d: Cambi rapidi di temperatura, Prova 11g: Corrosione in atmosfera industriale, Prova 11i: Caldo secco, Prova 11j: Freddo, Prova 11m: Caldo umido ciclico, Luglio 2003.

Pubblicazione CEI 48-12: Componenti elettromeccanici per apparecchiature elettroniche – Procedure di prova di base e metodi di misura, Parte 6: Prove climatiche e di saldatura, Febbraio 1998.

Pubblicazione IEC 60352: Connessioni senza saldatura, Parte 3: Connessioni senza saldatura accessibili a spostamento di isolante, Ottobre 1994.

Pubblicazione IEC 60352: Connessioni senza saldatura, Parte 4: Connessioni senza saldatura non accessibili a spostamento di isolante, Giugno 1996.

Specifica Tecnica di Prova INARCA ST 0410: Terminali INAR RS-MATE, 13 Maggio 2010.

Specifica Tecnica di Prova INARCA ST 0810: Terminali INAR RS, 5 Febbraio 1996.

Specifica Tecnica di Prova INARCA ST 5010: Terminali e Connettori RAST 2,5, 29 Ottobre 1999.

Specifica Tecnica di Prova INARCA ST 0003: Prove su componenti in materiale plastico, 7 Marzo 2001.

Specifica Tecnica di Prova INARCA ST 0006: Prove standard su terminali in lamiera, 10 Novembre 2004.

Tyco Electronics 108-2012: MAG-MATE Standard Terminals, 20 Ottobre 2008.

Tyco Electronics 501-30: MAG-MATE Standard Terminals, 14 Novembre 2007

Tyco Electronics 108-2013: Product Specification – Connectors, For TAB Contacts – RAST 5, Febbraio 2008.

Tyco Electronics 108-20238: Product Specification – DUOPLUG 2,5 Female Connector, Side Locking version, 11 Febbraio 2008.

Underwriters Laboratories Inc., Standard for Safety UL 486C: Splicing wire Connectors, 7 Settembre 2004.

Underwriters Laboratories Inc., Standard for Safety UL 1977: Component Connectors for Use in Data, Signal, Control and Power Applications.

Implementazione sperimentale delle Normative Internazionali (capitolo 5):

Pubblicazione IEC 60352: Conessioni senza saldatura, Parte 3: Conessioni senza saldatura accessibili a spostamento di isolante, Ottobre 1994.

Pubblicazione IEC 60352: Conessioni senza saldatura, Parte 4: Conessioni senza saldatura non accessibili a spostamento di isolante, Giugno 1996.

Servizio di Taratura in Italia, “Certificato di Taratura N. 22025”, www.sit-italia.it, 2011.

Galdabini, p.i. Prodotti, www.galdabini.it, 2011.

Bruel & Kjaer, p.i. Prodotti, www.bksv.com, 2011.

Bruel & Kjaer, “Prove vibrazionali”, 1987.

Belotti Sistemi, p.i. Componenti Vibrazioni, www.belotti-online.it, 2011.

Belotti Sistemi: Sistema di Vibrazione V650, “Manuale di installazione e funzionamento”, Gennaio 1995.

N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, *Elettronica di Potenza*, Hoelpli, 2003.

G. Pesavento, “Misure e Collaudo di Macchine e Impianti Elettrici”, Università degli Studi di Padova – Facoltà di Ingegneria.

P. Fiorentin, “Teoria della misurazione”, Università degli Studi di Padova – Facoltà di Ingegneria.

Trig-Tec Inc. Instruction Manual, “Contact Chatter Detector”, 1995.

Angelantoni Industrie, p.i. ACS environmental test chambers, www.angelantoni.it, 2011.

Volta S.p.a., p.i. Area Download, www.volta.it, 2011.

Yunus A. Cengel, *Termodinamica e Trasmissione del Calore*, McGraw-Hill, 2005.

Gianni Pomante, “La Certificazione come fonte di sviluppo e innovazione industriale”, Assessorato alle Politiche Culturali, 2006.