

Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

Scuola di Ingegneria

Laurea triennale in ingegneria elettronica

RELAZIONE DI TIROCINIO SVOLTO PRESSO LA SOCIETÀ CREIVEN SCARL

Strumentazione, normative e modalità di prova nell'ambito della sicurezza elettrica

Laureando:

Francesco Bez

Matricola 1004155

Relatore:

Prof. Paolo Tenti

Tutor aziendale:

Luca Maniero

Indice

1	Normazione ed accreditamento	4
1.1	Normazione	4
1.1.1	Introduzione	4
1.1.2	ISO	4
1.1.3	CEN,UNI,CEI,CENELEC e IEC	5
1.2	Accreditamento	5
1.3	CREIVen	6
1.3.1	Storia ed obiettivi	6
1.3.2	Accreditamento di prove e norme	6
1.3.3	Suddivisione	7
1.3.4	Progettazione strumenti	8
2	Strumentazione per le prove di sicurezza elettrica	10
2.1	Introduzione	10
2.2	Strumentazione per impiego generale	10
2.3	Strumentazione Specifica	11
2.3.1	Strumentazione commerciale	12
2.3.2	Strumentazione sviluppata <i>ad hoc</i>	12
3	Test di sicurezza elettrica	16
3.1	Introduzione	16
3.2	Test svolti mediante ispezione	18
3.2.1	Regole generali	18
3.3	Test svolti mediante misura	19
3.3.1	Resistenza alla penetrazione di particelle solide e liquidi	20
3.3.2	Rigidità dielettrica	20
3.3.3	<i>Ball pressure test</i>	21
3.3.4	<i>Glow wire</i>	22

3.3.5	<i>Needle flame</i>	23
3.3.6	Sovrariscaldamento degli avvolgimenti	23

Introduzione

In aprile ho svolto un tirocinio presso CREIVen, un laboratorio di prova per la certificazione di prodotti industriali. Dopo un primo periodo, durante il quale sono stato introdotto alla norma EN61010¹, ho iniziato a collaborare nel reparto sicurezza elettrica. Qui mi sono occupato della messa a norma di due strumenti progettati internamente all'azienda e che verranno meglio descritti nel secondo capitolo: il CREIPWM e il CREILOAD. In seguito ho eseguito o assistito operatori nello svolgimento di diverse prove come il *glow wire*, il *needle flame* o il test di rigidità dielettrica, trattati nel terzo capitolo. Nella seconda parte del tirocinio ho collaborato con il progettista di CREIVen per la realizzazione dello stampato di alcune schede interne agli strumenti sopra citati. Questo lavoro è stato eseguito con particolare riguardo all'aspetto normativo che questa operazione richiede. Nell'ultimo periodo ho realizzato un semplice applicativo per facilitare gli operatori nel test di riscaldamento degli avvolgimenti, prova descritta nell'ultima parte della relazione.

¹riguardante strumenti di laboratorio

Capitolo 1

Normazione ed accreditamento

1.1 Normazione

1.1.1 Introduzione

La globalizzazione dei mercati ha causato l'introduzione in ambito locale di prodotti provenienti da ogni parte del mondo. Si è quindi resa necessaria l'applicazione di regole riguardanti la produzione e la vendita di beni. Una normazione internazionale permette di discutere ed operare costruttivamente con collaboratori di altri paesi e consente di trasmettere informazioni tecniche in maniera comprensibile e univoca. A questo scopo nasce l'ISO.

1.1.2 ISO

Nel 1946 delegati da 25 paesi si riunirono a Londra per creare un'organizzazione che avesse come fine l'unificazione degli standard industriali¹. Le operazioni dell'organizzazione cominciarono ufficialmente nel febbraio del 1947. Poiché l'acronimo di *International Organization for Standardization* si sarebbe scritto diversamente in ogni lingua, venne scelta la sigla ISO, derivante da *ισος*, che significa *uguale* in lingua greca.

L'unificazione della normativa da parte dell'ISO ha portato dei benefici, tra cui la sicurezza e la rintracciabilità dei prodotti certificati. A livello di produzione permette di minimizzare lo spreco di tempo e di limitare gli errori dovuti ad incomprensioni tra i collaboratori.

¹[...]avec pour objet de faciliter la coordination et l'unification internationales des normes industrielles

Lo sviluppo di standard è affidato in ambito ISO alle persone ed agli enti direttamente interessati dalle stesse, allo scopo di ottenere il più ampio consenso possibile.

Lo standard ISO si occupa di molti aspetti dell'ambito industriale. Nel seguito si considererà prevalentemente quello di sicurezza elettrica.

1.1.3 CEN,UNI,CEI,CENELEC e IEC

Il CEN (*Comité européen de normalisation*) è un ente normativo, costituito ufficialmente a Bruxelles il 30 ottobre 1975, che si propone lo scopo di produrre ed armonizzare le norme tecniche (note con la sigla EN). Il CEN opera in Europa e si avvale della collaborazione di enti normativi nazionali e internazionali tra quali, ad esempio, l'ISO. Gli standard prodotti dal CEN vengono armonizzati da enti nazionali, i quali li adattano alle esigenze del proprio paese e li fanno entrare in vigore negli stati membri.

L'UNI (ente italiano di unificazione) è l'ente preposto in Italia ad occuparsi dell'armonizzazione e dell'attività normativa in tutti gli ambiti ad eccezione di quello elettrotecnico ed elettronico. Di quest'ultimi si occupa infatti il CEI.

Il CEI (comitato elettrotecnico italiano) venne costituito nel 1909 come ente senza fini di lucro con l'incarico di interagire con gli enti di normazione internazionali, CENELEC e IEC, e di svolgere di conseguenza l'attività normativa.

Il CENELEC è l'organo europeo che si occupa della normazione riguardante l'ambito elettrico ed elettrotecnico. L'IEC è l'organo internazionale che si occupa della medesima sfera d'interesse.

1.2 Accredimento

La certificazione dei prodotti avviene per mezzo di laboratori dedicati a questa attività. Perché un laboratorio possa apporre il marchio CE ad un prodotto, è necessario che sia stato in precedenza accreditato. In Italia l'unico ente preposto all'accREDITAMENTO dei laboratori è ACCREDIA.

ACCREDIA nasce nel 2009 ad opera dello stato italiano, come associazione senza fini di lucro, con lo scopo di adeguarsi alla normativa europea. Questa prevede infatti la necessità che ciascun stato membro abbia un uni-

co ente dedicato all'accreditamento mediante l'applicazione dello standard internazionale ISO 17000 e della serie armonizzata EN 45000.

L'ente valuta in primo luogo la competenza del personale addetto alla valutazione di conformità. ACCREDIA si divide in quattro settori principali: certificazione ed ispezione, laboratori di prova, laboratori di prova per gli alimenti e laboratori di taratura.

1.3 CREIVen

1.3.1 Storia ed obiettivi

CREIVen fu fondata nel 1995 come consorzio di diritto privato senza fini di lucro mediante un accordo tra le aziende Jofa, Sicon, Eei, Mecc Alte e Cemont. Questo ente ha avuto fin dai primi anni il sostegno della camera di commercio e si è avvalso di una stretta collaborazione con l'università di Padova. Dopo due anni si è conclusa la fase di gestione privata e CREIVen ha assorbito due Consorziati istituzionali, la CCIAA di Padova e il Consorzio Padova ricerche. A partire dal 1999 la società ha continuato l'ampliamento fino a diventare, nel 2002, società consortile a responsabilità limitata. Quest'ultima assunse il nome CREIVen come acronimo di Centro Ricerca Elettronica Industriale Veneto.

Oltre all'attività di certificazione dei prodotti, CREIVen collabora con le aziende in modo da giungere ad un prodotto a norma nel più breve tempo possibile. L'articolo 3 dello Statuto dell'azienda recita infatti:

La società si propone di agevolare l'attività delle imprese ed enti pubblici e di migliorarne la capacità organizzativa e produttiva, l'efficienza, l'efficacia ed i risultati, contribuendo all'avanzamento tecnologico delle PMI interessate ad aspetti connessi all'impiego di conoscenze e tecnologie nell'ampia area dell'elettronica industriale, elettromeccanica ed automazione.

1.3.2 Accredimento di prove e norme

CREIVen è una *Test house* che si occupa di certificare i prodotti in ambito elettrico. ACCREDIA accredita i laboratori per le singole prove o per intere norme. Nel primo caso si accerta che il laboratorio esegua correttamente

uno specifico tipo di prova, come ad esempio il *Ball pressure test* (appartenente in questo caso alla EN 60695-10-2). In questo modo il laboratorio è autorizzato ad eseguire una particolare prova a prescindere dalla norma di riferimento: qualora in un'altra norma fosse previsto lo stesso test, il laboratorio può procedere senza ulteriori accreditamenti. Al contrario, se il laboratorio viene accreditato per una norma questo non è più possibile. Si tende quindi a percorrere la prima strada, almeno finché questioni interne lo permettono. Le norme e le prove per cui CREIVen è accreditato spaziano buona parte dell'ambito elettrico ed elettronico. Per un elenco completo è possibile consultare [5]

1.3.3 Suddivisione

Per motivi organizzativi, il CREIVen è suddiviso in quattro settori principali:

- Area BT
- EMC
- Fotovoltaico
- Ricerca e sviluppo

L'area BT si occupa della sicurezza elettrica. In questo settore si eseguono controlli che accertano la sicurezza fisica dell'utilizzatore, tra cui i test di *heating, leakage current, power input*. L'acronimo BT indica bassa tensione e fa riferimento alla Low voltage directive (LVD), una direttiva della commissione europea che tratta di apparecchiature con alimentazione fino a 1000V in continua e 1500V in alternata. La LVD [7] contiene la lista delle norme a cui riferirsi in base all'ambito di interesse. Ad esempio per quanto riguarda gli elettrodomestici, la LVD indica come riferimento la norma EN 60335-1:2012 della CENELEC derivata dalla IEC 60335-1:2010, che è stata in qualche punto modificata. Nel settore BT, CREIVen si occupa della norma 61010-1:2010, la cui denominazione ufficiale è Apparecchi elettrici di misura, controllo e utilizzo in laboratorio, in molte norme particolari della 60335-1:2010 (apparecchi elettrodomestici) e della EN 60695:2003 (apparecchi elettrici).

EMC è il laboratorio di compatibilità elettromagnetica e provvede alle prove di emissione di onde elettromagnetica e di disturbi lato rete. In realtà

in CREIVen, tale settore non esegue solo test di compatibilità (la cui direttiva di riferimento è la 2004/104/CE) ma anche di *automotive*, ossia la radiazione emessa da veicoli (97/24/CE e 2004/104), di occupazione dello spettro (1999/5), di sicurezza a disturbi in ambiente gas (2009/142/CE) e di ambito elettromedicale (93/42/CE). I test di compatibilità elettromagnetica sono principalmente di due tipologie: emissione e immunità. Nel primo caso ci si accerta che l'apparecchio non emetta un'eccessiva quantità di radiazioni in relazione all'ambiente dove dovrà operare. Nel secondo invece che non alteri il suo funzionamento se disturbata da onde elettromagnetiche. Un apparecchio domestico ad esempio dovrà avere una bassa emissione ma la norma è meno stringente riguardo all'immunità: l'ambiente domestico è infatti soggetto a deboli disturbi elettromagnetici. Questo non vale nel caso di un apparecchio industriale, il quale dovrà avere una forte immunità ma potrà avere dei valori di emissione più alti.

Il terzo settore esegue principalmente prove sugli *inverter* fotovoltaici. Le norme cui si riferiscono è la CEI 0-21 e la CEI 0-16, che riguardano rispettivamente la bassa e la media tensione. L'aumento degli impianti fotovoltaici ha reso la rete di distribuzione instabile in alcuni punti; per rimediare a questo problema la CEI 021 e 016 fissano delle curve di funzionamento che gli *inverter* fotovoltaici devono rispettare per poter operare sulla rete. Le norme danno anche indicazioni sulle protezioni che questi devono avere per poter essere utilizzati in sicurezza ed immessi nel mercato.

Il settore ricerca e sviluppo consiste in un gruppo di operatori che offre soluzioni tecniche alle aziende che lo richiedono. Nel caso in cui un cliente richieda una scheda elettronica da inserire in un prodotto, i progettisti si recano in sede e prototipano e testano il componente richiesto affinché non solo sia funzionale ma anche rispetti tutte le norme che a quel tipo di apparecchio si riferiscono.

1.3.4 Progettazione strumenti

Il continuo evolvere della norma implica l'aggiornamento della strumentazione. Alcuni apparecchi di misura per particolari prove sono difficilmente reperibili, mentre altri non sono in commercio. È quindi necessario che il laboratorio costruisca e certifichi i propri strumenti, pensati specificatamente per le misure previste dalle normazioni. La costruzione degli strumenti in azienda è curata dall'aspetto hardware a quello software. Inoltre la presen-

za di apparecchiatura di alto livello permette un test esaustivo sul prodotto finale che ne consente il futuro utilizzo in ambito di test normativo.

Capitolo 2

Strumentazione per le prove di sicurezza elettrica

2.1 Introduzione

Per eseguire test di sicurezza elettrica, si utilizzano strumenti sia di utilità generica, sia di utilità specifica. A seconda della prova varia anche la precisione richiesta e di conseguenza il valore dello strumento. In laboratorio sono quindi presenti rappresentanti di entrambe le categorie.

2.2 Strumentazione per impiego generale

In laboratorio sono presenti diversi multimetri. Tra di essi sono particolarmente utilizzati i FLUKE e gli XITRON.

I primi sono strumenti portatili; oltre alle tipiche funzionalità di un multimetro, essi vengono utilizzati principalmente per il test di continuità. Questa prova permette di verificare che tra un punto ed un altro del circuito sia presente un collegamento. L'applicazione di maggior rilievo in sicurezza elettrica di questa funzionalità è il controllo di continuità di terra. La IEC 604335-1 prescrive al capitolo 27 (*provision for earthing*) la necessità che tutte le parti metalliche che potrebbero assumere un potenziale pericoloso siano poste a terra. Una tipica applicazione di multimetro utilizzata in laboratorio è la misura di resistenza. Il capitolo 11 della IEC 60335-1 prevede che il test sul riscaldamento (*heating test*) di trasformatori e motori vada compiuto per mezzo di una misura di resistenza. Altre norme prevedono la stessa tipo-

logia di misura e solitamente si tratta di test di primo guasto riguardo al surriscaldamento.

Lo XITRON è uno strumento fisso di elevate prestazione. Inizialmente veniva usato per misure a bassissima corrente, dove la notevole precisione dello strumento permetteva misure attendibili. Veniva anche utilizzato come wattmetro per la prima applicazione di potenza agli apparecchi sotto misura (*power input*). Oggi questo strumento non viene più utilizzato per compiere misure, poiché funge da campione interno all'azienda. Con scadenza fissa un impiegato dell'azienda si reca all'INRIM [6] dove effettua la taratura.

L'INRIM (Istituto nazionale di ricerca metrologica) ha sede a Torino ed è un ente pubblico di ricerca. Esso è principalmente l'istituto metrologico primario, pertanto realizza i campioni primari delle unità di misura fondamentali del sistema internazionale della unità di misura (SI).

Tra i vari oscilloscopi è presente il HP54603B che viene utilizzato per il test sulla corrente dispersa e la corrente di contatto. La norma IEC 6950-1 riguarda gli UPS ¹ e prescrive un test sulla corrente che scorre sul cavo di terra.

Oltre agli strumenti di misura, in laboratorio sono presenti anche alimentatori generici. Ad esempio il CPS elettrotest è un alimentatore stabilizzato. Si tratta di fatto di un generatore controllato che fornisce una tensione richiesta stabile e ad una frequenza prescelta. La frequenza può variare da 20 a 80hz. Questo strumento viene usato in tutte le prove, sia quando si richiede una tensione particolare, sia quando si richiede la tensione di rete. Infatti la prima accensione di qualsiasi apparecchio viene fatta alimentandolo con il CPS in modo da avere un comportamento attendibile. Inoltre il CPS ha un contenuto armonico molto ridotto, caratteristica fondamentale per un alimentatore da laboratorio.

2.3 Strumentazione Specifica

La norma prevede delle prove specifiche che difficilmente possono essere effettuate con la strumentazione generica: si rende necessaria della strumentazione specifica che va ordinata direttamente al produttore. La continua evoluzione della norme inoltre rende difficile reperire gli strumenti adatti. Talvolta la strumentazione necessaria non è disponibile sul mercato o è disponibile ad un prezzo elevato. È per questo necessario la fabbricazione di

¹*Uninterruptible power supply*, ossia gruppo di continuità.

strumenti interna all'azienda. Questo procedimento non è sempre semplice. La difficoltà di prevedere le complicazioni che durante la costruzione possono insorgere non permette una precisa stima del tempo che sarà necessario a completare il progetto. Tempi troppo lunghi rendono economicamente sconveniente la produzione propria dello strumento.

2.3.1 Strumentazione commerciale

Nella strumentazione commerciale si annovera l'apparecchio per i test CTI (*comparative tracking test*) e PTI (*proof tracking test*). Questi test riguardano la determinazione degli indici di resistenza e di tenuta alla traccia di materiali isolanti solidi in condizioni umide. La prova prevede diversi passaggi e la sua norma di riferimento è la EN60112.

Vengono prelevate varie parti dell'apparecchiatura sotto esame: i provini devono avere particolari caratteristiche come la dimensione non inferiore a 20x20 mm, valori codificati di temperatura e umidità e devono essere estremamente puliti. La soluzione elettrolita viene preparata partendo dall'acqua deionizzata con conducibilità inferiore a 1mS/m e mescolandola con lo 0.1% di cloruro ammonio. La soluzione deve risultare di conducibilità compresa tra 2.5mS/cm e 2.57 mS/cm. Lo strumento presenta due elettrodi che vanno posti sul provino. Viene impostata una corrente di cortocircuito (tipicamente 1A) ed una tensione sugli elettrodi che viene dettata dalla norma (sotto l'appendice *overvoltage category*). L'apparecchio fa cadere una goccia di soluzione ogni 30 secondi e il provino viene percorso dalla corrente di cortocircuito. Il test risulta superato se il provino non prende fuoco o si scioglie per 50 gocce consecutive.

Chiaramente è impensabile di eseguire un test simile senza una macchina appositamente pensata allo scopo. Questa apparecchiatura è relativamente richiesta e fabbricata in piccoli quantitativi in aziende locali ed è stato quindi possibile acquistarla. Per quanto riguarda altre norme, questo non è sempre possibile.

2.3.2 Strumentazione sviluppata *ad hoc*

Nel corso degli anni, sono stati prodotti alcuni di questi strumenti specifici all'interno dell'azienda. Quando un apparato presenta dei relè, un test richiesto è la prova della resistenza di contatto. La prova viene eseguita facendo scorrere una corrente specificata per un numero stabilito di volte. La norma

specifica la corrente che deve scorrere sul contatto ma spesso non la tensione (anche perché si tratta di fatto di un semplice contatto, molto vicino a un cortocircuito ideale). Si è dunque pensato ad un gruppo di resistenze, combinabili in serie e parallelo che, posto tra l'alimentazione ed il contatto da testare, imponga la corrente specificata. Quando il relè non è scollegabile dalla scheda, accade che ai capi del carico costituito dalle resistenze combinate si abbia anche una tensione. In questo particolare caso è necessario un carico di potenza. Altrimenti è possibile sfruttare una bassa tensione e delle piccole resistenze per ottenere la corrente necessaria senza un'eccessiva dissipazione di potenza che comporta l'uso di componenti più costosi e di dissipatori.

A questo scopo sono stati progettati due carichi, chiamati CREILOAD, simili nell'idea, ma diversi per componenti. In entrambi i casi si tratta di resistenze i cui rami sono aperti o chiusi da relé, controllati a monte da microcontrollore e comandabili tramite USB da computer.

Il carico programmabile CREILOAD è costituito da una serie di schede (il numero è oggi 6 ma la caratteristica modulare ne permette la modifica) costituite da 10 relé comandati tramite integrato darlington *open collector*. Ad ogni scheda arriva un comando di clock inviato da microcontrollore che funge da ingresso al contatore binario CD4040 a 12 bit che comanda i darlington. I relé combinano in serie e parallelo le resistenze. L'alimentazione è a 2V e, grazie alla scelta delle resistenze, si può arrivare ad avere una corrente di 25A. La bassa tensione in ingresso permette di ottenere un carico di dimensioni ridotte perché la potenza in gioco non è troppo alta.

Nella versione di potenza il concetto è simile, ma si è in presenza di resistenze da molti watt fatte costruire su misura e da ventole per l'inevitabile dissipazione di potenza. Oltre al controllo mediante USB, è stata realizzata una semplice interfaccia a levette che permette di digitare direttamente la parola binaria che combinerà le resistenze secondo il valore impostato.

Il wattmetro CREIPWM è utilizzato per misure precise di potenza sugli *inverter* fotovoltaici. Esso si basa sul datalogger PICOLOG. Questo campionario presenta delle proprietà interessanti tra cui l'acquisizione con precisione a 12 bit e un'interfaccia software che astrae i campioni raccolti come un flusso di dati. La memoria interna del PICOLOG è di soli 8 kbyte e questo suggerisce ² l'interazione trasparente con il DMA del computer.

²il costruttore infatti non specifica il *modus operandi* dell'oggetto al riguardo.



Figura 2.1: CREILoad, versione di potenza

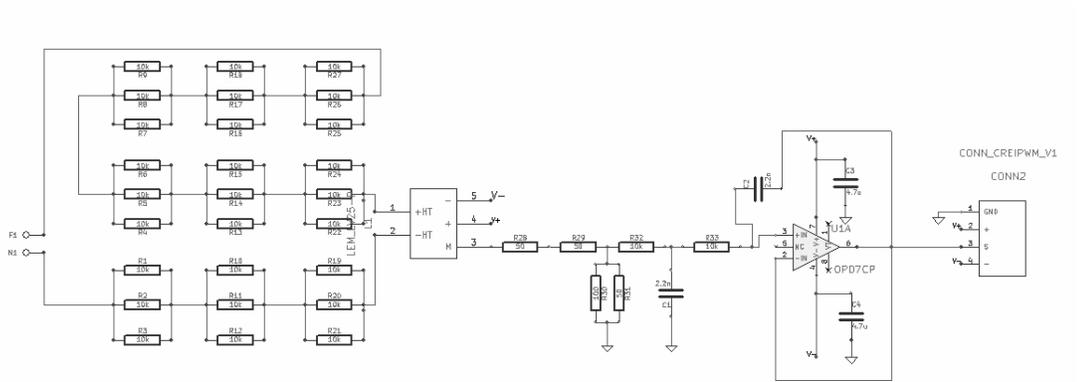


Figura 2.2: Scheda di tensione CREIPWMV1

Le misure di tensione richieste per il calcolo di potenza sono fuori dalla portata nominale del campionatore utilizzato. Tra la rete ed il PICOLOG va quindi interposta la scheda riportata in figura 2.2. La fase e il neutro vengono applicati ai due connettori a sinistra. Il trasduttore corrente-tensione LEM necessita di $10mA$ per funzionare. Questi sono ottenuti partendo dai $230V$ della rete mediante un tappeto di resistenze, la cui combinazione serie e parallelo corrisponde ad una resistenza di $30k\Omega$. Si è evitato l'uso di un'unica resistenza per evitare dissipatori e resistenze di potenza. La corrente entra poi nel trasduttore LEM LV-25 che garantisce l'isolamento galvanico offrendo una linearità dello 0.2%, difficilmente raggiungibile altrimenti. Questo al prezzo di un piccolo offset dovuto alla magnetizzazione residua. L'uscita del trasduttore viene dimezzata mediante partitore resistivo e passata attraverso un filtro passa-basso Sallen-key del secondo ordine con funzione *anti-aliasing*. Il segnale così ottenuto è adatto ad essere campionato dal PICOLOG.

La difficoltà principale nelle misure di potenza è limitare l'errore di fase. Un piccolo errore di fase nel campionamento di tensione e corrente si traduce in grande variazione della potenza calcolata rispetto a quella reale. Il wattmetro CREIPWM cerca di porre un limite ai problemi dovuti alla fine-struttura rettangolare nel campionamento mediante interpolazione simbolica. I campioni ottenuti dalla scheda vengono interpolati per mezzo di polinomi di sesto grado. La curva così ottenuta viene nuovamente campionata con un passo scelto in modo da simulare un campionamento sincrono. Recentemente la norma è stata aggiornata richiedendo la stima precisa della potenza da eseguirsi in caso di *inverter* fotovoltaici fino alla nona armonica. A tale scopo la macchina sopracitata è stata modificata per ottemperare alle specifiche. La produzione interna degli strumenti ha un ulteriore vantaggio: permette di accreditare il laboratorio velocemente all'entrata in vigore di una nuova normazione o di una modifica alle norme già esistenti. Per un laboratorio di certificazione valgono infatti le leggi di mercato. Prima esso è in grado di eseguire correttamente una prova normativa, maggiore sarà il numero di clienti che ad esso dovranno necessariamente rivolgersi. Una precisa valutazione delle armoniche richieste ha imposto una modifica nello strumento. Nella sua seconda versione, esso campiona a $200kHz$ a 18 bit, in modo da garantire la stima delle armoniche richieste con il grado di precisione riportato sulla norma. La parte sostanziale della misura è svolta dall'aspetto *software* che si occupa di gestire i dati secondo il procedimento già menzionato.

Capitolo 3

Test di sicurezza elettrica

3.1 Introduzione

La politica comunitaria in materia di libera circolazione delle merci ha portato all'emanazione di varie direttive. Le direttive comunitarie seguono alcuni principi. L'armonizzazione si limita a trattare i requisiti essenziali e solo i prodotti che li rispettano possono essere marchiati CE. La marchiatura CE è obbligatoria sui prodotti che vengono immessi sul mercato. Un prodotto è considerato a norma se conforme a tutte le disposizioni di tutte le direttive applicabili a tale oggetto.

Tra le direttive che richiedono la marcatura CE, è presente la 73/23/EEC, chiamata *Low voltage equipment* e che riguarda la sicurezza elettrica. Questa direttiva è stata sostituita dalla 2006-95-CE. Essa ha lo scopo di garantire la circolazione e la sicurezza del materiale elettrico destinato a funzionare entro i 75V e 1000V in continua o i 50V e 1500V in alternata. Da qui si evince che la direttiva si applica sia a prodotti finiti (elettrodomestici, macchine industriali), sia a componenti elettrici come motori o interruttori. Ne sono invece esplicitamente esclusi materiali elettrici per uso clinico, parti elettriche di ascensori e montacarichi, contattori elettrici, disturbi radio e materiali elettrici speciali destinati ad essere usati a bordo di navi ed aerei. Per tutti questi gruppi sono previste direttive dedicate.

I requisiti essenziali di sicurezza sono indicati nell'allegato I, che considera e i vari rischi che si possono presentare sul materiale (considerando sia l'uso nominale che quello che si può prevedere) e i requisiti a cui il materiale deve essere conforme. È opportuno che la considerazione dei requisiti essenziali

venga trattata in fase di progetto. È inoltre indicata come debba essere prodotta la documentazione dell'oggetto.

Alla direttiva sono legati i riferimenti normativi. Nella presente, vengono fondamentalmente considerate la serie EN 60335-1, che tratta di apparecchi per uso domestico, e la serie EN61010-1, che riguarda apparecchi per uso in laboratorio.

La norma generale EN60335-1 descrive i requisiti generali che devono avere apparecchi che verranno utilizzati in case, negozi o in generale da personale non esperto. Nonostante tenti di prevedere qualsiasi uso scorretto, la norma non prende però in considerazione l'uso dell'oggetto da parte di bambini o di persone diversamente abili non accompagnate.

I testi normativi si aprono con una lista di definizioni. Questo allo scopo di evitare qualsiasi ambiguità anche in relazione al fatto che alcune di esse si discostano dal significato comune del termine definito. Alcune definizioni particolarmente articolate sono quelle di isolamento e protezione.

Il primo viene suddiviso in principale (strato di dielettrico a contatto con il conduttore) e supplementare, i quali assicurano insieme il doppio isolamento. Oltre a quest'ultimi, sono indicati dalla norma un isolamento funzionale, ossia la distanza tra le piste che permette il corretto funzionamento della scheda, ed un isolamento rinforzato che sostituisce il doppio isolamento.

La protezione viene definita in tre classi. Per protezione di classe I si intende quella data da un isolamento principale ed un collegamento a terra di tutte le parti metalliche che possono assumere elevate tensioni; di classe II quando non è presente il collegamento a terra ma si è in presenza di un doppio isolamento; di classe III quando la sicurezza è data dalla bassissima tensione (minore di 42V).

In seguito nel testo vengono definite le condizioni generali per le prove, dove sono descritte accuratamente tutte le prove da fare in relazione alle diverse modalità di installazione dell'apparecchio e alle condizioni ambientali che si devono imporre.

Dalla classe di protezione e dal grado di protezione contro le infiltrazioni d'acqua (grado IP) vengono classificati tutti gli apparecchi che rientrano nella norma. Il testo presenta un capitolo interamente dedicato alla marcatura. Esso considera sia il contenuto delle etichette da apporre agli strumenti, sia la resistenza fisica che la marcatura deve avere.

Il capitolo successivo si concentra sull'accessibilità, ossia la possibilità di venire a contatto con parti in tensione. Il controllo dell'accessibilità è

fortemente codificato e preve l'uso di calibri di dimensioni e forme differenti a seconda dell'oggetto sotto esame.

Da quanto detto, si evince che le prove da eseguire per poter apporre il marchio CE sono principalmente di due tipi: per ispezione e mediante misura. Il secondo gruppo è il più consistente e richiede l'uso di apparecchiatura speciale.

3.2 Test svolti mediante ispezione

I test svolti mediante ispezione sono quelli per i quali il superamento della prova è subordinato alla presenza o meno di un elemento. Tra di essi vi è quello riguardante l'etichetta del prodotto. La presenza di tutte le informazioni necessarie per quella tipologia di oggetto non è sempre verificata, come non è sempre corretta la resistenza fisica della marcatura. Questa può essere infatti delebile o rimovibile semplicemente.

Ricade in questa tipologia di test anche la verifica della presenza del cavo di terra, quando necessario, e la separazione tra schede di potenza e di controllo. Spesso è richiesta una netta separazione galvanica e l'utilizzo di connettori adatti. La norma può vietare l'uso di un certo tipo di connettore per questioni di sicurezza o accessibilità, anche se esso garantisce il livello di tensione e corrente richiesta.

Sempre mediante ispezione si può verificare l'accessibilità di parti pericolose. Schede sulle quali sono presenti alti livelli di potenza non devono essere accessibili se non mediante l'uso di uno strumento che rimuova la protezione: non è sufficiente un coperchio rimovibile manualmente, ma se ne rende necessario uno che richieda l'impiego di un cacciavite o una chiave inglese per essere smontato.

A seconda dello strumento e delle potenze presenti, viene richiesta l'immediata sospensione di alimentazione dello strumento quando il coperchio dello stesso viene sollevato.

3.2.1 Regole generali

I test svolti mediante ispezione suggeriscono un certo numero di regole generali a cui attenersi quando si assembla uno strumento elettrico od elettronico.

Innanzitutto è necessario assicurare l'eventuale cavo di terra, collegandolo saldamente all'intera carcassa metallica. A volte non è sufficiente che sia

presente un semplice contatto superficiale: il metallo potrebbe essere ricoperto da una patina leggermente o completamente isolante, atta a proteggerlo dall'ambiente esterno. In questi casi ci si deve servire di viti dal dorso rugoso che mentre vengono fissate raschiano la superficie del metallo permettendo il pieno contatto con il materiale metallico.

In secondo luogo è sempre opportuno considerare con cura la distanza tra le piste. Se tra due piste è presente un alta differenza di potenziale, ci si deve assicurare che la distanza eviti una scarica nel dielettrico, costituito dalla vetronite tra le due piste. Lo spessore delle piste deve essere accuratamente scelto in base alla corrente che dovrà passarvi. Deve essere trovato un compromesso tra la solidità che una pista spessa garantisce, e le ovvie ragioni di *layout* che si incontrano.

Analogamente va compiuta la scelta dei cavi presenti nell'apparecchio. Essi devono avere lo spessore adatto per la corrente che vi scorrerà attraverso e l'isolamento sufficiente a seconda della posizione che occuperà nello strumento finito. È inoltre necessario assicurarsi che le parti in tensione non siano facilmente raggiungibili, se non attraverso utensili. Non vanno infine trascurati i connettori. Questi devono avere i requisiti per l'applicazione prevista in termini sia di isolamento tra gli eventuali ingressi sia di protezione della connessione del cavo.

Adottate queste minime norme di sicurezza, si dovrà poi procedere con la valutazione attenta dei parametri non immediati, come temperatura e resistenza alle polveri e all'acqua.

3.3 Test svolti mediante misura

Per alcune prove sono necessari particolari strumenti e personale in grado di seguire con precisione l'*iter* di verifica che la norma prevede. Queste costituiscono la maggior parte delle prove da eseguire per poter apporre il marchio CE. In particolare appartengono a questa categoria la prova di resistenza all'umidità, di rigidità dielettrica e di sovrariscaldamento degli avvolgimenti del motore.

3.3.1 Resistenza alla penetrazione di particelle solide e liquidi

Il grado IP specifica il livello di resistenza di un involucro alla penetrazione di corpi solidi e liquidi. Esso consta pertanto di due cifre. La prima può assumere valori tra 0 e 6. La cifra 0 indica l'assenza di protezione per l'ingresso di corpi solidi, 1 l'impossibilità di penetrare col dorso della mano. Per i gradi 2 – 4 vengono specificate i diametri di diverse sferette, a cui l'involucro non deve permettere l'ingresso. Il grado 4 e 5 indicano la resistenza alla penetrazione della polvere, che può essere verificata senza o con depressione. In quest'ultimo caso viene applicato all'interno dell'involucro una diminuzione di pressione, che rende più facile l'ingresso alla polvere.

La seconda cifra prende invece i valori tra 0 e 8. I primi valori indicano la resistenza ad una pioggia sempre più fitta. Un apparecchio definito di grado 5 deve resistere ad un getto d'acqua di $100\frac{l}{min}$. Il grado 7 ed 8 indicano resistenza all'immersione, nel primo caso ciclica, nel secondo continua.

A seconda dell'apparecchio, il produttore assegna all'oggetto sotto test un grado di protezione contro l'ingresso di liquidi. È specificato dalla norma il grado IP minimo a seconda della tipologia e del luogo dove l'apparecchio è destinato ad operare. Il testo descrive la procedura da eseguire in tutti e sei i casi, ma sostanzialmente l'obiettivo è che l'acqua proveniente o dall'ambiente ove lo strumento svolge la sua funzione, o da contenitori nei pressi dell'oggetto stesso, non riducano le distanze di isolamento specificate in precedenza. In caso di dubbio si deve procedere con il test di rigidità dielettrica.

3.3.2 Rigidità dielettrica

Per il test di rigidità dielettrica, viene utilizzato il GLP2. Questo strumento è un rigidimetro e serve a verificare la tenuta degli isolamenti. La EN 60335 prescrive i livelli di tensione da applicare all'isolamento in base alla classe di appartenenza dello stesso: sono cioè prescritte diverse modalità di prova per isolamenti principali, secondari e rinforzati.

Oltre all'involucro principale, contenente l'elettronica, lo strumento presenta due connettori con manico. Premendo il grilletto si applica la tensione che parte da 0V per raggiungere il valore di 1000 V con una rampa di pendenza specificata. Se per la durata di un minuto non si presentano scariche nel dielettrico, la prova è superata. Il rigidimetro prevede al suo interno

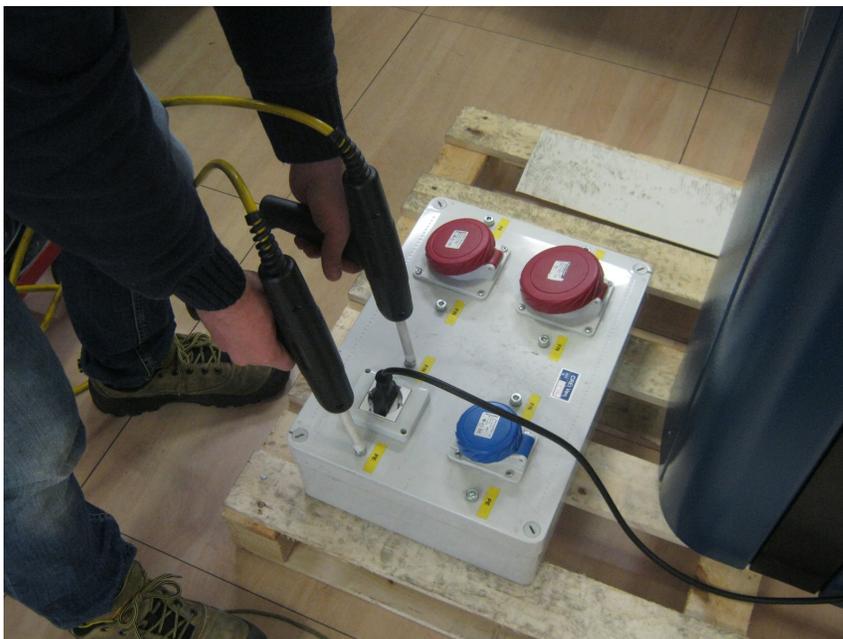


Figura 3.1: test di rigidità dielettrica

una protezione nel caso di scarica, la quale interrompe immediatamente la corrente.

Per l'isolamento supplementare, la prova si svolge avvolgendo l'isolante con carta argentata. La tensione viene applicata tra il conduttore e l'avvolgimento applicato con la stessa modalità precedentemente descritta.

Per le parti plastiche degli apparecchi elettronici sono previste tre prove: *ball pressure*, *glow wire* e *needle flame*.

3.3.3 *Ball pressure test*

Il ball pressure test si serve di uno strumento costituito da una sfera che esercita pressione su di un pezzo di plastica mediante due contrappesi. Questa prova ha lo scopo di determinarne la stabilità dimensionale sotto un peso a temperature elevate. Mediante di esso è possibile analizzare la relazione tra il grado di deformazione e la temperatura, quando il pezzo di plastica è soggetto da un carico costante. In questa prova è specificato un diametro di 5mm per la sfera e un peso di 20N, mentre la durata prevista è di 60 minuti.

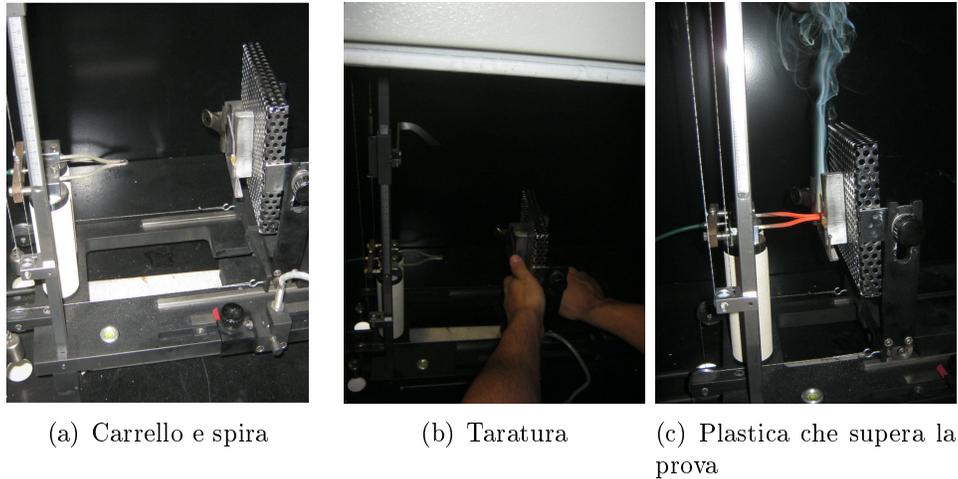
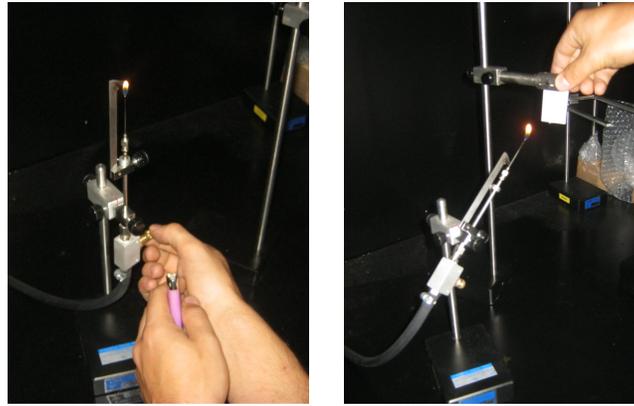


Figura 3.2: *Glow wire*

3.3.4 *Glow wire*

La prova del *glow wire*¹ si applica a tutte le componenti plastiche che supportano parti in tensione. Per questo test è presente una apparecchiatura apposita che consiste in una camera da forno, in cui è presente una spira metallica ed un carrello comandato da controllore. Viene impostata la temperatura indicata dalla norma per lo specifico oggetto sotto esame. Questo viene fermato saldamente mediante una pinza presente sul carrellino, il quale viene poi avvicinato alla spira fino a toccarla. A questo punto lo strumento è tarato e premendo il bottone di avvio, il controllo avvicina l'oggetto alla spira divenuta incandescente per 30 secondi. A contatto avvenuto, la temperatura cala per la cessione di calore della spira verso l'oggetto. Quando la temperatura torna al livello prescelto, si avvia il conto alla rovescia. La prova risulta superata se l'oggetto non prende fuoco oppure se si crea una fiamma che si estingue entro due secondi. In caso contrario la prova viene ripetuta diminuendo di 100 gradi la temperatura. Sul fondo dello strumento è posta della carta velina: nel caso di gocciolamento di parti plastiche, essa non deve prendere fuoco. Nel caso in cui si sia avuta fiamma anche la seconda volta, si passa al test del *needle flame*.

¹letteralmente "spira incandescente"



(a) Regolazione fiamma

(b) Posizionamento plastica

Figura 3.3: *Needle flame*

3.3.5 *Needle flame*

Per questa prova è previsto un contenitore che presenta guanti interni. Con essi è possibile regolare la fiamma di un becco bunsen che verrà poi avvicinata all'oggetto sotto esame. Appena avvenuto il contatto, si fa partire un cronometro che deve misurare trenta secondi. Alla scadenza, se l'oggetto non ha preso fuoco, la prova è considerata superata.

3.3.6 Sovrariscaldamento degli avvolgimenti

Quando si è in presenza di un motore elettrico, la norma prevede diverse verifiche riguardo alle sovratemperature. Per il calcolo istantaneo della temperatura ci si serve della relazione che lega la resistenza degli avvolgimenti alla temperatura degli stessi. La prova inizia con l'accensione del motore fino al raggiungimento del regime, condizione verificata mediante termocoppie. Viene poi sospesa l'alimentazione e bloccato il rotore: questo perché il rotore in movimento indurrebbe una forza elettromotrice che falserebbe la misura. A rotore fermo si fa partire la misura mediante multimetro e si annotano i valori di resistenza in funzione del tempo. L'andamento che si verifica è esponenziale decrescente. I dati così raccolti vanno estrapolati per ottenere il valore di resistenza all'istante zero, da cui è possibile ricavare il valore di temperatura al blocco del motore. A seconda della classe di avvolgimento

viene specificata una ΔT , entro la quale si trova la temperatura del rotore affinché possa considerarsi superata la prova.

Conclusioni

Il tirocinio svolto CREIVen si è rivelato formativo sotto diversi punti di vista. In primo luogo operare in un laboratorio di prova sensibilizza verso l'aspetto normativo. Quest'ultimo è divenuto ormai imprescindibile dall'operato del progettista ma viene spesso sottovalutato o ignorato: ignorare la normativa implica un notevole ritardo nella presentazione del prodotto sul mercato. In secondo luogo lavorare a contatto con gli operatori di sicurezza elettrica permette di acquisire conoscenze tecniche sia pratiche sia teoriche che un ingegnere elettronico - a qualsiasi livello - non può ignorare. Infine l'atmosfera di grande collaborazione e di interesse che per qualsiasi aspetto elettronico ed elettrico viene mostrato, è sicuramente stimolante ed invita ad approfondire diversi argomenti legati a questo ambito.

Bibliografia

- [1] Sito ISO, <http://www.iso.org>, consultato in data 22/8/2013
- [2] Sito CEN, <http://www.cen.eu>, consultato in data 25/8/2013
- [3] Sito CEI, <http://www.ceiweb.it>, consultato in data 23/8/2013
- [4] Sito CENELEC, <http://www.cenelec.eu>, consultato in data 21/8/2013
- [5] Accredia, <http://www.accredia.it/>, consultato in data 22/8/2013
- [6] Sito INRIM, <http://www.inrim.it>, consultato in data 21/8/2013
- [7] Descrizione LVD, http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-standards/low-voltage/index_en.htm, consultato in data 19/8/2013
- [8] CREIVen *corsi interni*, anno 2012
- [9] CEI/IMQ, *Sicurezza degli apparecchi elettrici d'uso domestico e similare*, Marzo 2009