

**A. LAMPASI**

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare  
Divisione Tecnologie Fusione Nucleare  
Laboratorio Diagnostiche e Ingegneria Elettrica  
Centro Ricerche Frascati, Roma

**S. MANNORI**

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare  
Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute  
Laboratorio Diagnostiche e Metrologia  
Centro Ricerche Frascati, Roma

**A. COCCHI**

Università di Roma Sapienza  
Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica

**V. LOPRESTO**

Direzione Centrale Infrastrutture e Servizi  
Servizio di Prevenzione e Protezione  
Centro Ricerche Casaccia, Roma

**S. DELFINO, S. CASALES,  
G. TESSITORE, L. RINALDI**

Ministero dell'Interno  
Dipartimento della Pubblica Sicurezza  
Direzione Centrale Anticrimine della Polizia di Stato  
Servizio Polizia Scientifica, Roma

# MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE DI STORDITORI ELETTRICI

RT/2021/9/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

**A. LAMPASI**

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare  
Divisione Tecnologie Fusione Nucleare  
Laboratorio Diagnostiche e Ingegneria Elettrica  
Centro Ricerche Frascati, Roma

**S. MANNORI**

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare  
Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute  
Laboratorio Diagnostiche e Metrologia  
Centro Ricerche Frascati, Roma

**A. COCCHI**

Università di Roma Sapienza  
Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica

**V. LOPRESTO**

Direzione Centrale Infrastrutture e Servizi  
Servizio di Prevenzione e Protezione  
Centro Ricerche Casaccia, Roma

**S. DELFINO, S. CASALES,  
G. TESSITORE, L. RINALDI**

Ministero dell'Interno  
Dipartimento della Pubblica Sicurezza  
Direzione Centrale Anticrimine della Polizia di Stato  
Servizio Polizia Scientifica, Roma

## MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE DI STORDITORI ELETTRICI

RT/2021/9/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

#### Ringraziamenti:

Gli autori desiderano ringraziare sentitamente: Vito Iacovino di ENEA per aver avviato e favorito la collaborazione tra l'ENEA e la Polizia di Stato; Giampiero Mugnaini e Marco Pistilli di ENEA per la realizzazione dei setti isolanti; Antonio Palucci di ENEA per le dotazioni di sicurezza; il prof. Valerio De Santis dell'Università degli Studi dell'Aquila per i preziosi consigli.

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina [www.enea.it](http://www.enea.it)

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

## MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE DI STORDITORI ELETTRICI

A. Lampasi, S. Mannori, A. Cocchi, V. Lopresto, S. Delfino, S. Casales, G. Tessitore, L. Rinaldi

### Riassunto

Il presente rapporto descrive la collaborazione tra l'ENEA e il Servizio Polizia Scientifica per la caratterizzazione di alcune armi ad impulsi elettrici, definite come "storditori elettrici". Per la legislazione italiana si tratta di armi proprie non commercializzabili, in quanto la loro destinazione naturale è l'offesa alla persona. La caratterizzazione di tali dispositivi non è semplice, anche perché non è coperta da riferimenti normativi o da documentazione tecnica specifica. Inoltre, la corrente trasmessa ad un soggetto e l'effettiva pericolosità per la salute dipendono da una serie di fattori, quasi sempre non prevedibili. Per questi motivi, prima di presentare le misure sui dispositivi specifici, il rapporto riepiloga le normative applicabili e cerca di individuare i parametri, le procedure e le condizioni di prova più adatte alla caratterizzazione degli storditori. Le misure sui tre storditori sottoposti a prova secondo le procedure proposte sono state confrontate con le curve di sensibilità del corpo umano, derivate dagli standard internazionali, mostrando che esiste la concreta possibilità di indurre problemi cardiaci o altri effetti pericolosi per la salute.

**Parole chiave:** Storditori elettrici, armi elettriche, taser, impulsi elettrici, sicurezza elettrica, impedenza del corpo umano, misure elettriche.

### Abstract

*The present report describes the collaboration between ENEA and the Forensic Police Service aimed at the characterization of some electrical weapons, defined as "stun guns". According to the Italian law, they are conventional weapons that cannot be marketable, as their natural purpose consists in harming human beings. The characterization of such devices is not trivial, also because is not addressed by reference standards or by specific technical documentation. Moreover, the current delivered to a person and the actual health risk depend on several factors, that are usually unpredictable. For these reasons, before presenting the measurements on the specific devices, this report summarizes the applicable standards and attempts to identify the most suitable parameters, procedures and test conditions. The measures obtained by applying the proposed test procedures on the three stun guns were compared to the human body sensitivity curves, derived from the international standards, showing serious possibilities of triggering heart problems or other harmful effects.*

**Keywords:** Stun guns, electrical weapons, tasers, electric pulses, electrical safety, human body impedance, electrical measurements.



1	Introduzione.....	7
1.1	Scopo del presente rapporto.....	7
1.2	Definizioni generali .....	7
1.3	Normativa di riferimento.....	9
1.3.1	Legislazione italiana.....	9
1.3.2	Normative e standard internazionali .....	10
1.3.3	Norme tecniche di compatibilità elettromagnetica.....	10
1.3.4	Altri documenti e norme di riferimento per le prove .....	11
2	Breve teoria dei dispositivi a conduzione elettrica.....	13
2.1	Dipendenza della corrente dalla tensione .....	13
2.2	Tempi caratteristici di un segnale periodico .....	13
2.3	Corrente efficace e componente continua.....	14
2.4	Tecniche e strumenti di misura .....	15
3	Considerazioni sulla pericolosità dei dispositivi elettrici.....	17
3.1	Impedenza elettrica equivalente del corpo umano .....	17
3.2	Normative e soglie convenzionali.....	19
3.3	Effetto della durata dei singoli impulsi (frequenza dello stimolo) .....	20
3.4	Soglie di sicurezza.....	21
4	Procedure di misura e considerazioni pratiche.....	23
4.1	Funzionamento di riferimento.....	23
4.2	Fasi e modalità di oscillazione delle armi a impulsi elettrici .....	23
4.3	Valori di riferimento per i taser commerciali .....	24
4.4	Set-up e condizioni di prova generali .....	25
4.4.1	Carichi di prova .....	25
4.4.2	Trasduttori di misura.....	25
4.4.3	Acquisizione ed elaborazione dati .....	26
4.4.4	Setti isolanti.....	26
4.4.5	Alimentazione del dispositivo in prova .....	26
4.4.6	Condizioni ambientali e altri accorgimenti.....	27
4.5	Accorgimenti e dispositivi di sicurezza .....	27
5	Caratterizzazione dello Storditore A.....	29
5.1	Aspetti generali dello storditore.....	29
5.1.1	Alimentazione interna dello storditore.....	29
5.1.2	Carichi di prova e setti isolanti.....	29
5.2	Modalità di oscillazione dello Storditore A.....	30
5.3	Misure su impulsi singoli .....	30
5.3.1	Valori stimati su un singolo impulso.....	32
5.4	Misure su treni di impulsi successivi .....	33
5.4.1	Corrente efficace e media su treni di impulsi .....	35
5.4.2	Statistiche su treni di impulsi .....	36
5.5	Riepilogo risultati .....	39

5.6	Considerazioni sulla pericolosità dello Storditore A.....	39
6	Caratterizzazione dello Storditore B.....	43
6.1	Aspetti generali dello storditore.....	43
6.2	Carichi di prova.....	43
6.3	Fasi e modalità di oscillazione dello Storditore B.....	44
6.4	Misure in modalità a basso duty cycle.....	45
6.5	Misure in modalità ad alto duty cycle.....	47
6.6	Considerazioni sulla pericolosità dello Storditore B.....	49
7	Caratterizzazione dello Storditore C.....	53
7.1	Aspetti generali dello storditore.....	53
7.2	Carichi di prova.....	53
7.3	Fasi e modalità di oscillazione dello Storditore C.....	53
7.4	Misure sullo Storditore C.....	53
7.5	Considerazioni sulla pericolosità dello Storditore C.....	55
8	Considerazioni conclusive.....	59
9	Bibliografia.....	61

## 1 Introduzione

---

### 1.1 Scopo del presente rapporto

---

Questo rapporto nasce dalla collaborazione tra l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) e il Servizio Polizia Scientifica della Polizia di Stato.

Lo scopo del rapporto è di descrivere la normativa di riferimento, le procedure di prova e i risultati delle misure effettuate su alcuni storditori elettrici sequestrati dalla Polizia di Stato, anche allo scopo di definire delle linee guida per eventuali ulteriori attività di questo tipo.

In particolare, si illustreranno i principi generali delle misure (parametri rilevanti e procedure da adottare) ed i risultati ottenuti su tre dispositivi in possesso della Polizia di Stato, denominati nel seguito rispettivamente Storditore A, Storditore B e Storditore C.

È importante sottolineare che il presente rapporto non attiene alla tematica relativa all'impiego di taser "legali" da parte delle Forze dell'Ordine [1], [2], [3], [4], [5].

### 1.2 Definizioni generali

---

Prima di affrontare i dettagli tecnici, è importante inquadrare bene i concetti generali che si affronteranno nel rapporto.

Un'arma a impulsi elettrici (electroshock weapon) è un dispositivo in grado di produrre nel "soggetto attinto" uno shock elettrico tale da bloccare temporaneamente le funzioni muscolari e/o di provocare dolore allo scopo di renderlo temporaneamente inattivo, possibilmente senza indurre danni permanenti.

In generale, le armi a impulsi elettrici operano ad una tensione abbastanza elevata (nell'ordine di centinaia o migliaia di volt), necessaria soprattutto a superare la barriera dei vestiti e della pelle, attraverso una pre-ionizzazione dell'aria. In questo modo, grazie alla formazione di un arco elettrico, il passaggio di corrente è possibile anche quando l'elettrodo si trova ad alcuni centimetri dal corpo [6].

Nonostante la notevole tensione, la corrente è limitata a valori che, seppure sufficienti ad immobilizzare temporaneamente il soggetto, non dovrebbero rivelarsi letali ( $\ll 1$  A). Tuttavia, è importante sottolineare che la corrente effettivamente erogata dipende da una serie di fattori, spesso non prevedibili, come la resistenza del corpo umano, la corporatura, i punti e l'area di contatto, lo stato della pelle, l'umidità, il vestiario e lo stato di carica della batteria.

Le denominazioni che si trovano per questo tipo di dispositivi non sono omogenee. Anche se i termini vengono solitamente usati indifferentemente, è possibile introdurre una distinzione generale tra due categorie di prodotti:

1. Storditori (stun gun) o dissuasori, che necessitano di un contatto diretto tra gli elettrodi e la vittima e che agiscono principalmente attraverso una stimolazione muscolare dolorosa nella zona di applicazione (anche se, come si vedrà in questo rapporto, non si possono escludere effetti più gravi, specialmente per tempi di azione più lunghi).
2. Taser (o dispositivi inabilitanti [3]), che possono agire anche a distanza (per questo sono più simili a pistole) e che mirano ad inibire il controllo volontario dei muscoli del soggetto attinto. Quando viene azionato, un taser “spara” (con una gittata fino a circa 10 m) due piccoli dardi con elettrodi che rimangono collegati al dispositivo attraverso due sottili cavi di collegamento. È opportuno riportare che anche i taser prevedono una modalità di funzionamento “a contatto”, ovvero appoggiando direttamente gli elettrodi scoperti sul corpo della vittima.

Il termine “TASER” è in realtà un acronimo inglese che sta per “Thomas A. Swift's Electric Rifle” (“fucile elettrico di Thomas A. Swift”), derivato da un romanzo di fantasia del 1911 [7]. Pertanto, sebbene il termine “taser” venga spesso usato in modo generico per designare un’arma elettrica, si tratta di un marchio depositato dal più importante produttore del settore, che ha recentemente cambiato il suo nome in Axon [8]. Nel seguito del rapporto, si parlerà di “taser ufficiali” in riferimento ai modelli di tale produttore.

I taser ufficiali sono stati soggetti a diversi studi e miglioramenti nel corso degli anni, sono in grado di registrare ed identificare ogni singolo utilizzo e sono di norma utilizzati da personale formato ed addestrato sulle regole d’ingaggio prescritte. Al contrario, gli storditori analizzati in questo rapporto sono spesso commercializzati al di fuori delle normative di settore, senza controlli e con istruzioni molto limitate. Solo a titolo di esempio, si nota che per tali dispositivi si promettono tensioni nell’ordine di centinaia di migliaia o milioni di volt che non sarebbero mai possibili per la distanza tra gli elettrodi. Inoltre, non esistono limitazioni sulla durata di applicazione, come invece avviene per i taser ufficiali (tipicamente limitati a 5 s).

Se la determinazione dei possibili effetti dei taser ufficiali non è banale, come testimonia il dibattito sempre aperto sul loro uso [5], questo è ancora più critico per gli storditori non controllati.

## 1.3 Normativa di riferimento

---

### 1.3.1 Legislazione italiana

---

La legislazione italiana nell'ambito dei rischi elettrici è basata sui decreti generali del 2003 [9] e del 2008 [10], che però non considerano dispositivi appositamente concepiti per l'offesa alla persona.

Gli storditori elettrici sono normativamente armi proprie, in quanto la loro destinazione naturale è l'offesa alla persona. L'argomento è stato inizialmente trattato nella Circolare del Ministero dell'Interno 559/C-50.652-E-97 del 1997 [11]. Il Decreto Legislativo 204/2010 [12] ha esplicitamente inserito gli "storditori elettrici e altri apparecchi analoghi in grado di erogare una elettrocuzione" tra gli oggetti atti ad offendere elencati nell'articolo 4 della Legge 110/1975 [13]. Per questo motivo, i dispositivi analizzati nel presente rapporto verranno definiti "storditori".

In quanto armi proprie, gli storditori elettrici non possono essere portati in luogo pubblico, poiché l'ordinamento vigente non prevede licenze per il loro porto. Infatti, è vietato il porto ai fini della difesa personale, in quanto non rientranti nelle previsioni di cui all'articolo 2 della Legge 110/1975 [13] e all'articolo 42 del Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza (TULPS) [14]. Inoltre, il Regolamento del TULPS vieta l'introduzione in Italia di armi per le quali non è consentito il porto. Ciò significa che, in principio, potrebbero essere legalmente venduti sul nostro territorio solo gli storditori realizzati in Italia. ma ad oggi nessun produttore ha ottenuto tale autorizzazione.

Questa situazione legislativa bandisce, di fatto, l'uso di qualunque tipo di storditore elettrico, indipendentemente dalle caratteristiche del dispositivo specifico.

Anche per tali motivi, allo stato attuale, non esiste una normativa tecnica italiana applicabile per questo tipo di dispositivi, né per quanto riguarda la loro costruzione, né per quanto riguarda il loro collaudo o verifica.

Con il Decreto Legge del 22 agosto 2014 [15], convertito nella Legge n. 146 del 2014 [15], è stato previsto che le Forze di Polizia possano dotarsi di questo tipo di armi.

In alcune città italiane, è stata condotta una sperimentazione sul possibile impiego di "pistole a impulsi elettrici" (taser) da parte delle Forze dell'Ordine, disciplinata da un Decreto del Ministero dell'Interno del 4 luglio 2018 [16], i cui principali obiettivi tecnici e norme di riferimento saranno riassunti nel Capitolo 1.3.3.

### 1.3.2 Normative e standard internazionali

Gli effetti della corrente che scorre nel corpo umano sono analizzati in diverse normative [17], [18], [19], [20], [21], [22]. Tuttavia, questi documenti sono incentrati sul passaggio accidentale di corrente attraverso il corpo umano e, come chiarito nel corso del presente rapporto, l'effetto di taser e storditori è solo parzialmente assimilabile a questa eventualità [2].

### 1.3.3 Norme tecniche di compatibilità elettromagnetica

La sperimentazione dei taser autorizzata dal Decreto del Ministero dell'Interno nel 2018 [16] ha visto il coinvolgimento di un rappresentante di ENEA nelle attività del "Tavolo tecnico interforze" incaricato di individuare i principi preliminari di precauzione per la salute e l'incolumità pubblica e i requisiti per la sicurezza degli operatori delle Forze dell'Ordine da seguire durante la sperimentazione.

Nello specifico, l'ENEA ha fornito indicazioni in merito alle prove di compatibilità elettromagnetica (EMC), di immunità alle scariche elettrostatiche e di misura delle correnti di contatto a cui sottoporre i dispositivi e le relative cartucce, in conformità alle norme tecniche internazionali. I riferimenti individuati sono riassunti in Tabella 1. Come indicato in Tabella 1, la sperimentazione ha esplorato anche le problematiche relative alla sicurezza degli operatori, verificando l'immunità dei dispositivi ai disturbi causati da sorgenti esterne e le correnti di contatto che gli operatori potrebbero sperimentare.

**Tabella 1.** Norme tecniche individuate nell'ambito della sperimentazione del 2018 [16].

Scopo verifica	Norma tecnica o prova individuata
Immunità ai disturbi elettromagnetici irradiati	MIL-STD-461G RS103 [23] Radiated Susceptibility, Electric Field, 2 MHz to 18 GHz, 50 V/m
	MIL-STD-461G RS101 [23] Radiated Susceptibility, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
Immunità alle scariche elettrostatiche	MIL-STD-461G CS118 [23] Personnel borne electrostatic discharge (ESD) ±2 kV (air), ±4 kV (air), ± 8 kV (contact/air), ±15 kV (air)
Interferenze verso altri strumenti o apparecchiature	MIL-STD-461G RE102 [23] Radiated Emissions, Electric Field, 2 MHz to 18 GHz Army Ground
	MIL-STD-461G RE101 [23] Radiated Emissions, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
Correnti di contatto verso l'operatore	Misura delle "touch current weighted for perception or startle reaction", secondo la IEC 60990 [24], per verificare la conformità alla soglia di reazione (threshold of reaction) di 0.5 mA come specificato dalla IEC 60479-1 [18]

#### 1.3.4 Altri documenti e norme di riferimento per le prove

---

Non è stato possibile reperire un manuale d'uso o specifiche tecniche affidabili per gli storditori in oggetto di questo studio. Essi sono stati presumibilmente reperiti sulla rete Internet in siti esteri. Come evidenziato sopra con l'esempio della tensione disponibile, i pochi dati riportati dai venditori non possono essere considerati neanche come riferimento iniziale.

Anche se non ha valore legale in Italia, come riferimento è comunque utile considerare la procedura di collaudo prodotta dalla Carleton University [25] e legalmente valida in Canada. Questa procedura è però incentrata sui classici taser con elettrodi sparabili.

Altrettanto interessante, ma sempre incentrato sui taser ufficiali, è il Rapporto del Consiglio Federale Svizzero del 2011 [3].



## 2 Breve teoria dei dispositivi a conduzione elettrica

---

### 2.1 Dipendenza della corrente dalla tensione

---

Il principale pericolo dei dispositivi elettrici per il corpo umano è rappresentato dalla corrente elettrica (di conduzione) che vi può scorrere. I dispositivi a conduzione elettrica applicano una tensione  $V$  per far scorrere una corrente  $I$  in un carico di resistenza  $R$  secondo la nota formula:

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Nelle armi a impulsi elettrici, il carico  $R$  è rappresentato dal corpo umano o, più precisamente, dalla parte di esso attraversata dalla corrente. Inoltre, è opportuno considerare che insieme alla resistenza del corpo sono presenti tutte le resistenze di contatto tra materiali diversi e gli effetti parassiti.

Le armi a impulsi elettrici, pur applicando una tensione, sono solitamente controllate in corrente, nel senso che cercano di produrre una certa corrente desiderata su carichi simili a quello del corpo umano. Per questo motivo, le armi a impulsi elettrici devono sempre essere provate su un carico di prova, di opportuna resistenza  $R$ , convenzionalmente simile a quella del corpo umano.

Più in generale, la resistenza deve essere sostituita da una impedenza  $Z=R+jX$ , in cui la parte immaginaria  $X$  è prevalentemente dovuta ad effetti capacitivi per quanto riguarda il corpo umano [18], [24], [26]. Per forme d'onda sinusoidali, una volta che si è calcolato il modulo dell'impedenza  $|Z|$ , gli effetti della parte immaginaria (capacitivi) si riducono ad un ritardo nella forma d'onda che non ha effetti pratici sul corpo. Per forme d'onda più complesse, la parte immaginaria può portare ad una modifica della forma degli impulsi. Il concetto di impedenza del corpo umano sarà approfondito nel Capitolo 3.1.

### 2.2 Tempi caratteristici di un segnale periodico

---

Le forme d'onda prodotte dalle armi a impulsi elettrici sono variabili nel tempo, ma generalmente caratterizzate dalla ripetizione di impulsi simili. Anche se il concetto di periodo è applicabile solo a forme d'onda strettamente periodiche, è possibile introdurre una definizione "estensiva" di periodo  $T$  della forma d'onda che può essere definito come la distanza temporale (anche variabile) tra impulsi successivi (anche non perfettamente identici).

Le forme d'onda impulsive vengono caratterizzate dal "duty cycle" ("ciclo di lavoro"), cioè dalla percentuale del periodo in cui l'impulso è attivo:

$$\delta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\Delta t}{T} \quad (2)$$

La larghezza (durata) dell'impulso  $\Delta t$  è un parametro che trova differenti definizioni pratiche. Si presti attenzione che spesso gli strumenti lo definiscono tra particolari percentuali del valore di picco (per esempio, la distanza tra due valori al 50% del valore di picco). Nel seguito della trattazione si cercherà di chiarire a che cosa ci si riferisce.

Gli impulsi hanno solitamente una salita relativamente veloce e una discesa (scarica) più lenta, caratterizzata da una evoluzione approssimativamente esponenziale, talora sovrapposta ad altri fenomeni. Quindi, l'andamento temporale della discesa è modellabile attraverso una funzione tipo

$$I_{\text{picco}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

in cui la "costante di tempo"  $\tau$  è un parametro caratteristico del circuito elettrico, che in questo caso può dipendere anche dal carico (corpo umano). Poiché il tempo di salita è trascurabile rispetto a quello di discesa  $t_{\text{scarica}}$ , si può approssimativamente assumere che

$$\Delta t \cong t_{\text{scarica}} \cong 4\tau \quad (4)$$

### 2.3 Corrente efficace e componente continua

---

La corrente elettrica prodotta dalle armi a impulsi elettrici è caratterizzata da forme d'onda variabili nel tempo. In questi casi, ha senso considerare il valore efficace (root-mean-square, RMS, in inglese) della corrente, che è il dato più importante per valutare la pericolosità di un dispositivo:

$$I_{\text{eff}} \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (5)$$

Tale formula è accurata per tempi di integrazione  $T$  sufficientemente lunghi. Per i calcoli pratici,  $T$  dovrebbe essere il periodo della forma d'onda o piuttosto la distanza (variabile) tra impulsi successivi.

La tensione efficace  $V_{\text{eff}}$  può essere definita analogamente, ma, rispetto alla corrente, è molto meno utile ai fini della caratterizzazione degli effetti biologici di stimolazione elettrica neuro-muscolare.

La corrente efficace è il dato più importante per valutare i possibili rischi derivanti dalla stimolazione elettrica. Tuttavia, l'effetto sul corpo umano dipende anche dalla frequenza

dello stimolo e una forma d'onda complessa può contenere diverse frequenze (vedi Capitolo 3.3). Spesso le normative indicano soglie specifiche per la componente continua (DC) della corrente:

$$I_{DC} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (6)$$

Si noti che comunque la formula (5) per la  $I_{\text{eff}}$  già contabilizza il peso della  $I_{DC}$ . Solo nel caso di correnti costanti, si ha che  $I_{DC}=I_{\text{eff}}$ .

Per completezza, si può anche calcolare la potenza erogata dal dispositivo sul corpo umano:

$$P = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} = R \cdot I_{\text{eff}}^2 \quad (7)$$

A rigore, quest'ultima formula è valida solo per i carichi resistivi, mentre i circuiti equivalenti proposti per il corpo umano contengono anche delle reattanze (corrispondenti alla parte immaginaria delle impedenze).

L'energia trasferita da ogni impulso al corpo umano è:

$$E_{\text{pulse}} = \int_0^T P(t) dt = \int_0^{\Delta t} P(t) dt \quad (8)$$

dove la seconda uguaglianza è possibile poiché la potenza è nulla al di fuori della durata dell'impulso.

Poiché l'energia è sommabile, l'energia di un treno di impulsi è semplicemente pari alla somma delle energie dei singoli impulsi.

## 2.4 Tecniche e strumenti di misura

---

Per il calcolo del valore efficace, è importante sottolineare che in generale

$$I_{\text{eff}} \neq \frac{I_{\text{picco}}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Quindi tale formula, in cui l'uguaglianza sarebbe valida solo per forme d'onda sinusoidali, non andrebbe assolutamente utilizzata nei casi di interesse che saranno trattati nel presente rapporto.

Per gli stessi motivi andrebbero utilizzati strumenti a "True RMS" (cioè a valore efficace vero). Cionondimeno, anche gli strumenti "True RMS" potrebbero produrre misure non accurate, in particolare su duty cycle molto bassi. È importante verificare il passo di campionamento e il tempo di integrazione su cui lo strumento stima il valore efficace (è difficile coniugare le due cose su forme d'onda con duty cycle molto bassi).

Se uno strumento calcola il valore efficace o il valor medio su un tempo inferiore al periodo, i valori possono essere riportati al periodo con formule del tipo:

$$I_{\text{eff}_T} = \sqrt{\frac{\Delta t}{T}} \cdot I_{\text{eff}_{\Delta t}} \quad (10)$$

$$I_{\text{DC}_T} = \frac{\Delta t}{T} \cdot I_{\text{DC}_{\Delta t}} \quad (11)$$

Le formule sono valide per tutti i tempi in cui la corrente è nulla.

Un'altra differenza nelle misure deriva dal fatto che un multimetro (tester) accoppiato in corrente alternata (AC) include la componente continua (DC) nel calcolo del valore efficace. Quindi per un multimetro (tester):

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{I_{\text{AC}}^2 + I_{\text{DC}}^2} \quad (12)$$

### 3 Considerazioni sulla pericolosità dei dispositivi elettrici

---

#### 3.1 Impedenza elettrica equivalente del corpo umano

---

L'impedenza del corpo umano è variabile da individuo a individuo e dipende anche da altre condizioni (vestiti, pelle, umidità) [18], [24], [26]. Per cercare di fornire un riferimento generale, la norma internazionale IEC 60990 [24] della International Electrotechnical Commission (IEC) prevede il circuito equivalente del corpo umano mostrato in Figura 1 (circuito a sinistra). Alcuni possibili miglioramenti di tale circuito, basati sui dati sperimentali, sono stati proposti in [26], [27]. Il più semplice di essi è mostrato in Figura 1 (circuito a destra). In questi circuiti, il comportamento non è puramente resistivo e, come si vede dalle risposte in frequenza in Figura 2, è variabile con la frequenza.

È importante riportare alcune considerazioni sulla resistenza del corpo umano:

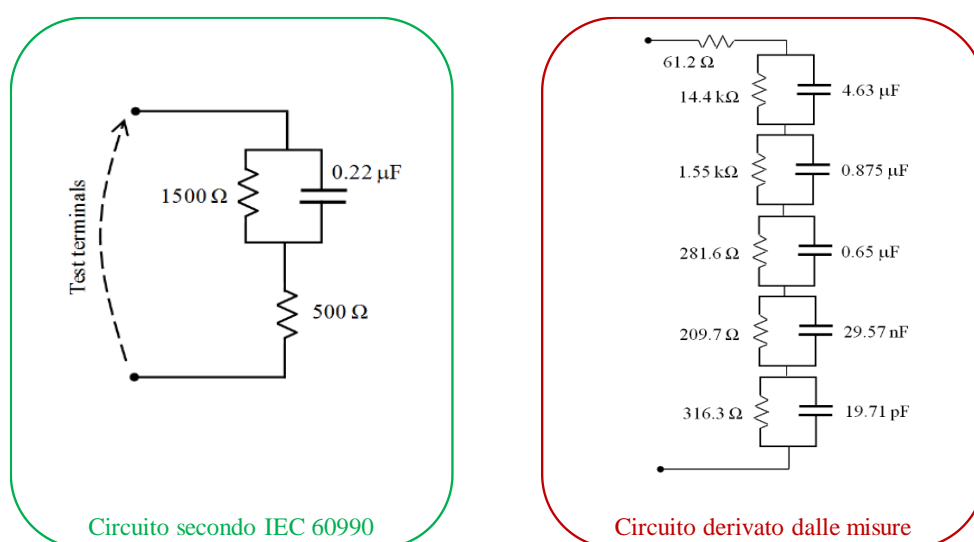
- I circuiti equivalenti in Figura 1 sono concepiti come casi peggiori di resistenza (resistenza più bassa) per correnti che si richiudono a terra sull'intero corpo.
- Come caso peggiore i circuiti considerano il "grasping", cioè un elettrodo afferrato da una mano, mentre il tocco accidentale ("finger") ha una resistenza circa doppia [26], [27].
- Sicuramente la porzione di corpo coperta da un taser a elettrodi sparabili a distanza o, ancor di più, da uno storditore a elettrodi fissi è inferiore a quella prevedibile dai circuiti equivalenti. Di conseguenza, la resistenza equivalente da considerare sarà molto inferiore.
- La resistenza del corpo umano diminuisce al crescere della tensione [18] e le armi a impulsi elettrici applicano tensioni molto più alte di quelle considerate per la sicurezza degli impianti (per esempio, 50 V).
- La regolazione in corrente tipica delle armi a impulsi elettrici dovrebbe rendere la corrente efficace abbastanza indipendente dalla resistenza.
- L'effetto su porzioni locali di corpo dovrebbe essere anche meno preoccupante.

Ai fini della valutazione numerica del carico da applicare durante le prove, si possono considerare le seguenti informazioni:

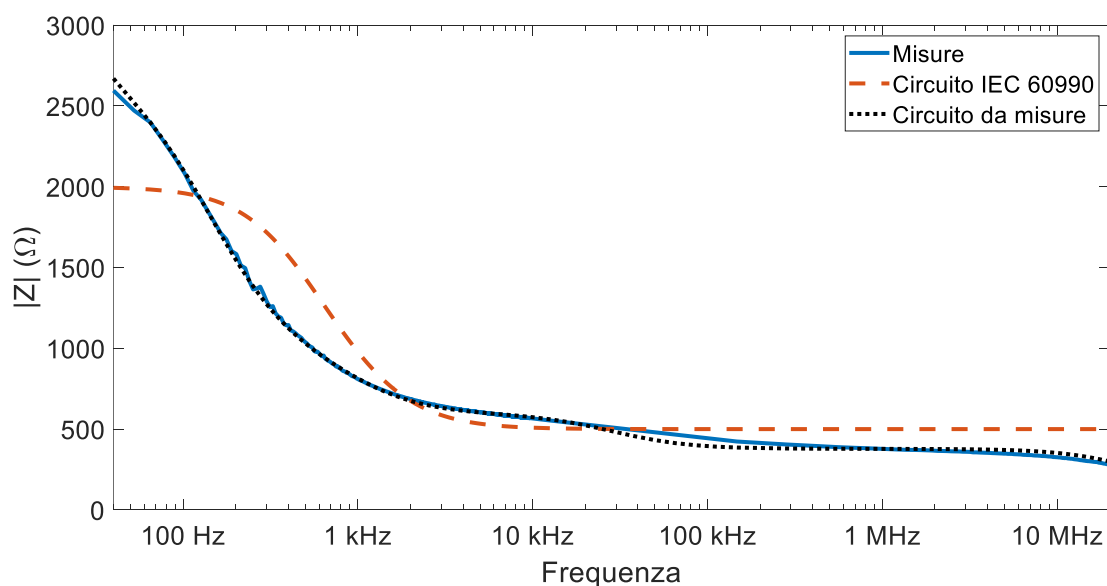
1. L'unica procedura di riferimento [25] suggerisce di provare armi a impulsi elettrici con carichi resistivi compresi tra 500  $\Omega$  e 1 k $\Omega$ .
2. Lo studio specifico del Consiglio Federale Svizzero [3] afferma che la resistenza della persona per un impulso di un taser ufficiale è circa 300  $\Omega$ .

3. Il produttore di taser ufficiali Axon [8] riporta le caratteristiche dei suoi prodotti su un carico di  $600 \Omega$ , affermando che ricerche mediche hanno mostrato che l'impedenza umana è collocata nell'intervallo  $470\text{-}690 \Omega$ . Secondo [25], la stessa ditta per alcuni modelli del passato usava  $500 \Omega$ .
4. La norma internazionale IEC 60335-2-76 [28], seppure con scopi differenti, definisce  $500 \Omega$  come carico di riferimento per la sicurezza elettrica.

In sintesi, in mancanza di altre indicazioni, il primo suggerimento proveniente da [25] è stato considerato abbastanza ragionevole. Quindi si effettueranno prove su valori vicini a  $500 \Omega$  e a  $1 \text{ k}\Omega$ .



**Figura 1.** Circuito equivalente del corpo umano secondo la IEC 60990 [24] e circuito alternativo derivato dalle misure in [26].



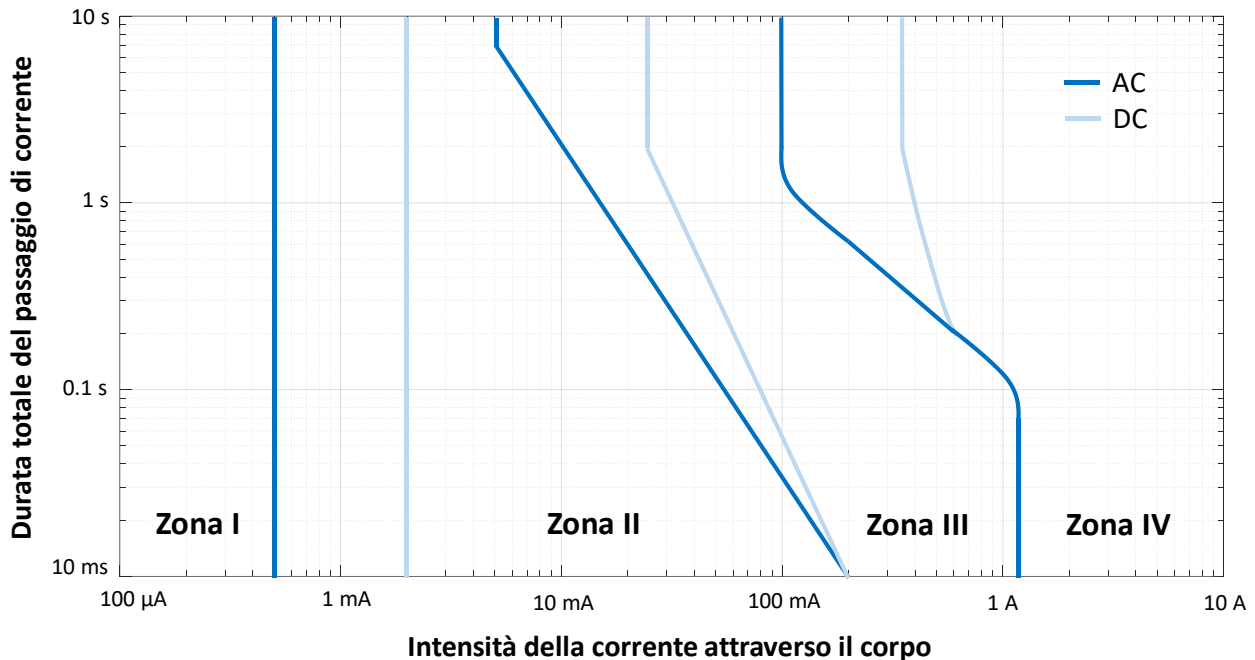
**Figura 2.** Risposta in frequenza del circuito equivalente IEC 60990 [24] confrontata con le misure sperimentali e il circuito ottenuto in [26] dalle stesse misure.

### 3.2 Normative e soglie convenzionali

La Tabella 2 riporta i livelli di riferimento per le correnti di contatto definiti dalla Commissione Internazionale sulla Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP) per il pubblico [17] (esposizione non professionale) al fine di prevenire scariche dolorose.

**Tabella 2.** Livelli di riferimento per le correnti di contatto per il pubblico definiti dall'ICNIRP [17].

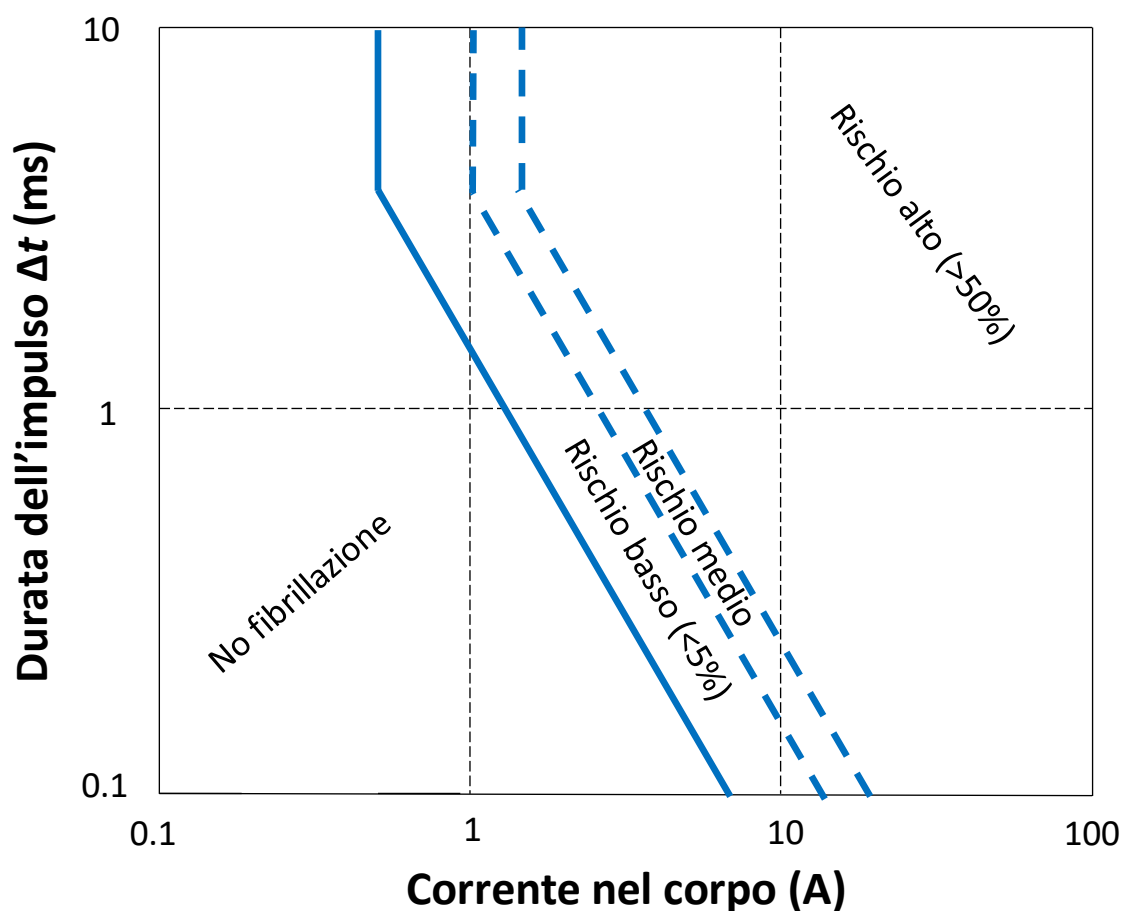
Intervallo di frequenza $f$	Massima corrente di contatto
Fino a 2.5 kHz	0.5 mA
2.5-100 kHz	$0.2 \cdot f_{\text{kHz}}$ mA
100 kHz - 10 MHz	20 mA



**Figura 3.** Sensibilità del corpo umano alla corrente applicata [18], [20]. Le 4 zone (leggermente diverse per correnti AC e DC) sono associate agli effetti attesi sul corpo umano, definiti nella Tabella 3.

**Tabella 3.** Effetti della corrente secondo le norme IEC [18], [20].

Zona	Effetto sul corpo
I	Abitualmente non si hanno reazioni.
II	Leggero dolore, ma abitualmente non si hanno effetti fisiologicamente pericolosi.
III	Abitualmente nessun danno organico, probabilità di contrazioni muscolari e difficoltà respiratoria; disturbi reversibili nella formazione e conduzione di impulsi nel cuore, inclusi fibrillazione atriale e arresto cardiaco provvisorio senza fibrillazione ventricolare, che aumentano con l'intensità della corrente e il tempo.
IV	In aggiunta agli effetti della Zona III, c'è una alta probabilità di effetti critici come la fibrillazione ventricolare, arresto cardiaco, arresto respiratorio; gravi ustioni possono presentarsi con l'aumentare dell'intensità della corrente e del tempo.



**Figura 4.** Probabilità di fibrillazione, riferita ad un singolo impulso per correnti tra la mano sinistra ed entrambi i piedi [19].

Indicazioni più specifiche sulle intensità delle correnti di contatto in relazione ai possibili effetti sono fornite dagli standard IEC [18] e [20] e sono riassunti in Figura 3 (vedi anche [29]). La Figura 3 delimita 4 zone, classificate in relazione agli effetti sul corpo umano secondo quanto riassunto nella Tabella 3. Le 4 zone sarebbero differenti nel caso che gli stimoli siano in AC ovvero in DC, ma la figura fornisce una visione di insieme dei due casi.

Per completezza, si riporta che per la corrente DC le norme prevedono una sensazione dolorosa di bruciore nella zona di contatto della corrente con il corpo a partire da 100 mA e ustioni e alterazione del ritmo cardiaco a partire da 300 mA [18].

### 3.3 Effetto della durata dei singoli impulsi (frequenza dello stimolo)

Impulsi elettrici di intensità o durata particolarmente elevata (possono provocare aritmie cardiache e fibrillazioni ventricolari che potrebbero portare ad un arresto cardiaco [4]). Questi effetti dipendono non solo dall'ampiezza dello stimolo (come schematizzato in

Figura 3 e Tabella 3), ma anche dalla durata (d'azione) dei singoli impulsi che lo compongono (spettro di frequenza).

L'approccio dei taser, che puntano ad immobilizzare il soggetto attinto senza creare danni permanenti, è basato sul fatto che i nervi dei muscoli scheletrici rispondono a stimoli più brevi (centinaia di microsecondi) rispetto a quelli del cuore (millisecondi). Per questo, impulsi molto brevi (con frequenza alta) dovrebbero essere percepiti dai primi e non dai secondi.

La norma IEC [19] tratta i rischi di fibrillazione ventricolare associati alle correnti ad alta frequenza, ma è incentrata sulle correnti industriali e sull'elettronica di potenza [3]. Gli impulsi di tali correnti hanno durate tra 1 e 10 ms, mentre gli impulsi dei taser non superano i 150  $\mu$ s. Come schematizzato in Figura 4, la durata estremamente breve degli impulsi dovrebbe aumentare ancor di più le soglie di intensità di corrente da considerare per indurre la fibrillazione ventricolare [19]. Si noti che il tempo indicato in Figura 4 è diverso da quello indicato in Figura 3: il primo corrisponde alla durata di un singolo impulso  $\Delta t$  (e quindi è associato alla frequenza dello stimolo), mentre il secondo è la durata totale della scarica data da diversi periodi  $T$ .

In pratica, la Figura 4 consente di spostare più a destra (cioè ad intensità più elevate) le curve relative alla soglia tra la Zona III e la Zona IV riportate in Figura 3 per impulsi brevi (<1 ms). Lo stesso spostamento non è automatico per le altre curve.

Come si vedrà nel resto del rapporto, i taser ufficiali operano con impulsi di durata  $\Delta t$  di poco superiori alla durata più bassa contemplata in Figura 4 (100  $\mu$ s), mentre gli storditori analizzati presentano impulsi con durate di un ordine di grandezza più basso, probabilmente, più che per scelta progettuale, a causa della difficoltà a mantenere gli impulsi per tempi più lunghi.

Infine, diversi studi hanno evidenziato una possibile influenza delle scariche elettriche prodotte da taser e storditori elettrici sul funzionamento di pacemaker e defibrillatori cardiaci impiantati, senza tuttavia osservare danni rilevanti [3], [30], [31].

### 3.4 Soglie di sicurezza

---

La Figura 3 e la Tabella 3 sono abbastanza chiare nel classificare gli effetti della corrente sul corpo umano secondo le principali norme di riferimento. Però, non bisogna trascurare ulteriori considerazioni.

A titolo di riferimento, negli impianti domestici civili è obbligatoria l'installazione di un interruttore differenziale con una soglia di interruzione della corrente tarata a 30 mA ( $I_{\text{eff}}$  AC),

che può diventare 10 mA in locali particolarmente critici. La soglia di 30 mA non deve essere vista come un valore al di sotto della quale non ci sono problemi, come è evidente osservando anche Figura 3 e Figura 4. Questa soglia è pensata soprattutto a 50 Hz, mentre gli storditori iniettano correnti a varie frequenze, caratterizzate da diverse soglie e resistenze. Gli stessi produttori dei taser ufficiali avvisano che il loro effetto non è paragonabile a quello di un infortunio da elettricità [3].

D'altro canto, per la sicurezza degli impianti si considerano principalmente correnti di contatto che scorrono tra gli arti (braccia e/o gambe). La corrente prodotta dalle armi a impulsi elettrici circola nel corpo soltanto tra i contatti del dispositivo, interessando un numero limitato di muscoli (e generalmente non interessando o escludendo il cuore). Questo è particolarmente vero per gli storditori ad elettrodi fissi che distano pochi centimetri, assimilabili alla "modalità contatto" dei taser ufficiali (distanza 4 cm).

Tuttavia, poiché il punto preciso e la situazione di applicazione non sono predicibili, la prudenza suggerisce di considerare sempre le soglie più generali.

Inoltre, è importante sottolineare che ogni considerazione deve tenere conto delle tolleranze dei dispositivi, dell'incertezza dei metodi di misura e della variabilità della costituzione delle persone. Per questi motivi, il rapporto [3] suggerisce di presupporre una incertezza del 20%.

Per concludere, vale la pena citare che molti danni sono prodotti "indirettamente" dai dispositivi elettrici, per esempio dovuti a cadute conseguenti allo stordimento o alla perdita di controllo muscolare. Anche gli "annunci" degli storditori illegali indicano come possibile effetto la caduta e il disorientamento della vittima.

## 4 Procedure di misura e considerazioni pratiche

---

### 4.1 Funzionamento di riferimento

---

Le armi a impulsi elettrici sono progettate per operare su carichi elettrici simili al corpo umano (vedi Capitolo 3.1).

Le operazioni di un'arma a impulsi elettrici tradizionale sono caratterizzate da due fasi:

1. Fase preliminare (di arco), di durata molto limitata. In questa fase, la tensione parte da un valore a vuoto (senza erogare corrente) molto alto (per esempio, 50 kV) per stabilire un buon contatto elettrico iniziale [6].
2. Fase di controllo (in corrente), per avere un picco di corrente nel range 2-4 A e un valore efficace nel range 1-100 mA. Il controllo in corrente dovrebbe durare un tempo massimo (per esempio, 5 s nei taser ufficiali), ma negli storditori sul mercato dura finché il tasto di attivazione rimane premuto. In questa seconda fase, la tensione è tipicamente nell'ordine di 1 kV.

È bene notare che l'arco visibile tra gli elettrodi a vuoto non è necessario per il funzionamento dei dispositivi. Solitamente è favorito dalla geometria come minaccia visibile.

In generale, le armi a impulsi elettrici dovrebbero produrre treni di impulsi a basso duty cycle, ma in quelli "non ufficiali" sono stati riscontrati duty cycle abbastanza vicini al 50%.

### 4.2 Fasi e modalità di oscillazione delle armi a impulsi elettrici

---

Per i taser "legali" (coperti da brevetto) è normalmente disponibile uno schema circuitale almeno di massima. Questo non è ovviamente disponibile per un dispositivo commercializzato senza autorizzazioni. Inoltre, si è stabilito il principio di non aprire gli oggetti da provare, soprattutto se questo richiedeva forzature meccaniche con il rischio di danneggiamento o modifica del funzionamento.

In linea di principio, la formazione di treni di impulsi può essere implementata attraverso opportuni oscillatori elettronici. Poiché, gli effetti desiderati o indesiderati sul corpo umano sono essenzialmente dovuti alla corrente erogata (o, abbastanza equivalentemente, alla carica elettrica iniettata), i dispositivi sono solitamente controllati in corrente (alta impedenza d'uscita). Tutto questo può essere ben realizzato su un determinato intervallo di resistenza (impedenza) di carico sul quale il dispositivo è stato progettato e collaudato. Questo intervallo deve essere coerente con tutte le considerazioni presentate nel Capitolo 3.1 sull'impedenza del corpo umano. Questi aspetti saranno sicuramente ben indagati per i taser ufficiali.

Invece, le caratteristiche dei dispositivi analizzati hanno dimostrato di dipendere dal carico (almeno per i valori di carico utilizzati). In alcuni casi, sono state addirittura osservate due possibili modalità di oscillazione per lo stesso dispositivo:

1. Oscillazioni a basso duty cycle, con funzionamento a tensione (di picco) quasi costante e corrente dipendente dal carico.
2. Oscillazioni ad alto duty cycle, con funzionamento a corrente (di picco) quasi costante e tensione dipendente dal carico.

È bene sottolineare che nei dispositivi esaminati sono state osservate entrambe queste modalità di oscillazione, ma non è chiaro quale sia la modalità di oscillazione alla quale il progetto puntava e quali erano i valori previsti per il carico. Spesso, il passaggio da una all'altra modalità è sembrato abbastanza casuale (per esempio, determinato dallo stato della batteria o delle resistenze di contatto).

#### 4.3 Valori di riferimento per i taser commerciali

Nonostante non siano lo scopo di questo rapporto, è utile riportare in Tabella 4 alcuni parametri di riferimento per i taser ufficiali attualmente in commercio.

**Tabella 4.** Valori tipici di un taser ufficiale.

<b>Caratteristica</b>	<b>Valore tipico nominale [8] (modelli X2, X26P)</b>	<b>Valori misurati in [3] (modello X26)</b>
<b>Carico di riferimento</b>	600 $\Omega$	300 $\Omega$ o volontari
<b>Tensione a vuoto</b>	Non dichiarata	50 kV
<b>Tensione massima a carico</b>	840-1440 V	$\approx$ 900 V
<b>Corrente di picco</b>	3-4 A	$\approx$ 3.3 A
<b>Corrente efficace impulso</b>	–	$\approx$ 65 mA
<b>Corrente efficace</b>	1.2 mA	$\approx$ 2 mA
<b>Frequenza di ripetizione impulsi</b>	19 $\pm$ 1 per secondo (Hz)	–
<b>Periodo <math>T</math></b>	1/19 $\approx$ 53 ms	–
<b><math>\Delta t \approx t_{\text{scarica}}</math></b>	50-125 $\mu$ s	$\approx$ 130 $\mu$ s
<b>Carica iniettata da singolo impulso</b>	$\approx$ 63 $\mu$ C	–
<b>Duty cycle <math>\delta</math></b>	<0.25%	$\approx$ 0.25%
<b>Durata sequenza standard</b>	5 s	5 s

È interessante notare che i modelli taser ufficiali X2 e X26PC sono stati progettati per iniettare una carica di  $\approx$ 63  $\mu$ C indipendentemente dal carico.

Inoltre, è interessante notare che i taser ufficiali presentano una piccola cavità tra le estremità dei cavi e i dardi che viene attraversata mediante un piccolo arco elettrico [3]. Questo fa annullare le correnti intorno al passaggio per lo zero, con conseguenti oscillazioni ad alta frequenza. Queste oscillazioni, se misurabili dal sistema di prova, non dovrebbero avere effetti sul corpo umano, mentre le oscillazioni di bassa frequenza sono ottimizzate per questo scopo [3].

#### 4.4 Set-up e condizioni di prova generali

---

La configurazione implementata per le prove è conforme a quanto suggerito in [25], con leggere differenze, come illustrato nel seguito.

##### 4.4.1 Carichi di prova

---

Anche se il funzionamento a vuoto può essere interessante, lo storditore deve essere provato su un carico opportuno per poter misurare la corrente erogata. A questo scopo, il dispositivo è collegato a un carico di prova resistivo.

È preferibile utilizzare resistori ad impasto di carbone, non induttivi, con bassa tolleranza e di potenza adeguata (per esempio, 10 W). Al di là della tolleranza nominale, si dovrebbe sempre verificare con uno strumento indipendente la resistenza effettiva del carico nella configurazione di prova. Può essere utile impiegare configurazioni modulari o a più prese, anche allo scopo di disporre di partitori di misura nel caso che i valori di tensioni fossero troppo alti per i trasduttori disponibili.

Poiché la risposta dei dispositivi può variare notevolmente in funzione del carico presente, è opportuno ripetere le prove con almeno due carichi diversi, con valori ai limiti inferiore e superiore dell'intervallo di carico atteso. Come evidenziato nel Capitolo 3.1, in mancanza di altre indicazioni, sembra abbastanza ragionevole effettuare prove con carichi vicini a 500  $\Omega$  e a 1 k $\Omega$ .

##### 4.4.2 Trasduttori di misura

---

La tensione deve essere misurata tramite sonde differenziali isolate con attenuazione (per esempio, 1000:1 [25] o 500:1), banda (per esempio, 100 MHz) e impedenze di ingresso (per esempio, 10 M $\Omega$ ) opportune. In particolare, l'attenuazione deve essere adeguata alla risoluzione di misura desiderata e potrebbe essere necessario disporre di una diversa attenuazione per il funzionamento a vuoto e per i diversi modi di oscillazione (vedi il seguito).

In [25], la corrente è misurata tramite una sonda di corrente. Anche se questo presenta il vantaggio di una misura diretta, può essere praticamente scomodo e introdurre dei carichi indesiderati. Per cui, si è preferito derivare la corrente indirettamente, dalla misura di tensione e dalla conoscenza del carico di prova.

#### 4.4.3 Acquisizione ed elaborazione dati

---

Come evidenziato dal Capitolo 2, i risultati delle prove possono richiedere misure non immediate e spesso non ottenibili con strumenti stand-alone. Per questi motivi, si suggerisce di acquisire e registrare le misure per una successiva analisi off-line.

Inoltre, poiché le forme d'onda registrate possono essere caratterizzate da duty cycle molto bassi (anche <1%), è difficile che uno strumento possa mantenere prestazioni adeguate per i tempi tipici di un singolo impulso e per una finestra che includa un sufficiente numero di periodi. In questo caso, è necessario effettuare acquisizioni separate o altre analisi numeriche complesse.

#### 4.4.4 Setti isolanti

---

Gli storditori in aria possono generare un arco elettrico tra gli elettrodi, che andrebbe evitato sia per ragioni di sicurezza che di stabilità della misura.

Nel caso che il dispositivo presenti delle cartucce sparabili a distanza, come avviene per i taser ufficiali, gli elettrodi possono essere distanziati per evitare l'arco elettrico. Negli altri casi, l'arco elettrico è normalmente evitato dalla bassa impedenza offerta dal carico di prova. Ciononostante, è spesso consigliabile interporre uno o più setti isolanti appositamente disegnati per evitare la formazione di tale arco.

#### 4.4.5 Alimentazione del dispositivo in prova

---

Le caratteristiche di uscita delle armi a impulsi elettrici sono fortemente variabili con lo stato di carica delle batterie. Tra l'altro, le batterie si scaricano molto velocemente con l'uso. Tuttavia, come caso peggiore, è opportuno effettuare le prove al massimo della carica della batteria (ed eventualmente ripeterle a carica più bassa per ulteriori valutazioni). Se il dispositivo lo consente, è interessante alimentare il dispositivo tramite un alimentatore esterno per verificarne il funzionamento con un ingresso stabile e ripetibile. Comunque, i dispositivi raramente consentono una rimozione delle batterie senza forzature e deformazioni.

#### 4.4.6 Condizioni ambientali e altri accorgimenti

---

Non ci sono particolari esigenze sulle condizioni ambientali. Il test è stato effettuato a temperatura ambiente in condizioni normali.

Occorre verificare che l'esecuzione di più prove non scaldi troppo i dispositivi, alterandone le prestazioni. Questo è un rischio concreto per gli storditori, ma più difficile per i carichi se sono di potenza adeguata.

Nelle armi a impulsi elettrici possono essere presenti apparentemente più elettrodi (più parti conduttive a vista). In realtà gli elettrodi sono sempre due, gli altri sono elettricamente collegati ai primi due in qualche modo.

Il contatto elettrico tra gli elettrodi in prova, i carichi e gli strumenti di misura può essere critico. Gli elettrodi possono avere forme particolari che non favoriscono l'aggancio meccanico. In alcuni casi, potrebbe essere utile l'interposizione di una pasta conduttiva, prestando attenzione a non alterare gli elettrodi.

#### 4.5 Accorgimenti e dispositivi di sicurezza

---

Poiché durante le prove le tensioni e le correnti in gioco possono essere relativamente alte, occorre sempre prestare massima attenzione alla sicurezza degli operatori e della strumentazione. Gli operatori devono impiegare i dispositivi di protezioni individuali (DPI) disponibili, come guanti per alta tensione, occhiali di protezione, collegamenti di terra ecc. La disposizione degli oggetti e le connessioni devono essere per quanto più possibile stabili, ampie e pulite.

Dopo l'accessione generale, i dispositivi vengono normalmente attivati tramite un apposito bottone sul manico/impugnatura, progettato per essere tenuto nelle mani dell'operatore. Questo meccanismo è ovviamente pensato per non arrecare danni all'operatore. Tuttavia, per questioni di sicurezza, si può attivare il dispositivo con un sistema remoto. Oltre, al problema della sicurezza, è stato verificato che in dispositivi più rudimentali, la corrente erogata può dipendere dall'azione esercitata dalla mano dell'operatore.



## 5 Caratterizzazione dello Storditore A

---

### 5.1 Aspetti generali dello storditore

---

Lo Storditore A ha una forma cilindrica con lunghezza di circa 30 cm. Ha una rigidità tale da poter essere utilizzato anche come manganello ed è dotato di una torcia per illuminazione. Visti i problemi legali, si è deciso di non mostrare immagini dello storditore.

#### 5.1.1 Alimentazione interna dello storditore

---

Nel funzionamento normale, lo Storditore A è alimentato da due batterie ricaricabili agli ioni di litio in serie, ciascuna avente tensione nominale 3.7 V (4.1 V al momento della prova) e capacità nominale 3200 mAh (ma potrebbero essere sostituite da modelli diversi).

Alcune prove sono state effettuate con le batterie per verificarne il funzionamento normale. Tuttavia, la corrente richiesta dallo storditore è notevole ( $>3$  A) e le batterie possono scaricarsi velocemente.

Poiché in questo caso particolare è stato abbastanza agevole rimuovere le batterie e collegare un alimentatore da banco al loro posto, per evitare che la misura venisse influenzata dallo stato di carica delle batterie, durante le prove lo storditore è stato connesso ad un alimentatore da banco di potenza adeguata e tensione 8.2 V. La corrente erogata da questo alimentatore è arrivata a circa 3.2 V.

#### 5.1.2 Carichi di prova e setti isolanti

---

Lo storditore deve essere provato su un carico di resistenza  $R$  per poter misurare la corrente erogata.

Lo storditore sembra presentare 4 elettrodi metallici distribuiti su una corona circolare a una estremità del cilindro. In realtà, i 4 elettrodi sono collegati elettricamente a coppie. Quindi la misura è stata effettuata tra 2 di essi.

Poiché lo storditore in aria genera un arco elettrico tra gli elettrodi, è stato necessario interporre dei setti isolanti appositamente disegnati e lavorati per evitarlo. Il setto deve riprodurre la geometria dello storditore per impedire qualunque percorso all'arco, ma allo stesso tempo consentire di accedere agli elettrodi. Sono stati creati due setti, uno in teflon, uno in materiale plastico da stampante 3D. Il secondo materiale non ha caratteristiche di isolamento ottimali, ma si è dimostrato sufficiente per la tensione osservata ( $<5$  kV).

Su ciascun setto sono stati inseriti i carichi di prova costituiti da resistori ad impasto di carbone, non induttivi, con tolleranza 5% e potenza nominale 2 W (10 W per 5 resistori in

serie). I carichi ottenuti sono costituiti da più resistori in serie anche allo scopo di disporre di partitori di misura nel caso che i valori di tensioni fossero troppo alti per i trasduttori disponibili.

Le resistenze di carico sono state verificate con un multimetro (ohmetro) digitale Agilent 34420A, misurando rispettivamente i seguenti valori:

1. Resistenza DC misurata con multimetro:  $R=594 \Omega$ .
2. Resistenza DC misurata con multimetro:  $R=1120 \Omega$ .

## 5.2 Modalità di oscillazione dello Storditore A

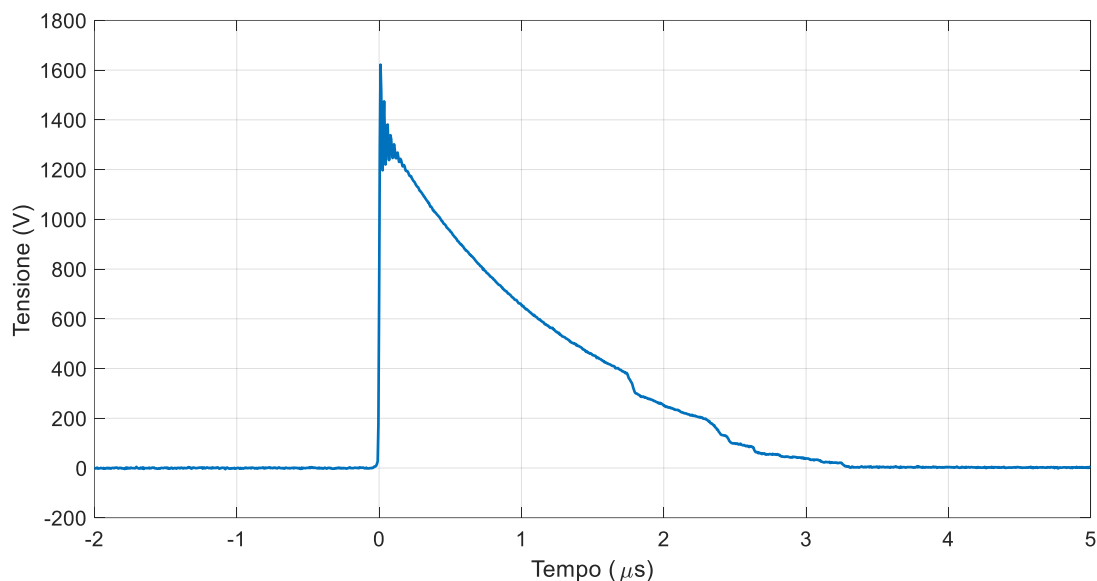
---

Durante tutte le misure sulle resistenze di prova, lo storditore ha oscillato nella modalità a basso duty cycle, con funzionamento a tensione (di picco) quasi costante e corrente dipendente dal carico. Questo comportamento è sembrato abbastanza stabile con il tempo e rispetto ad altri parametri.

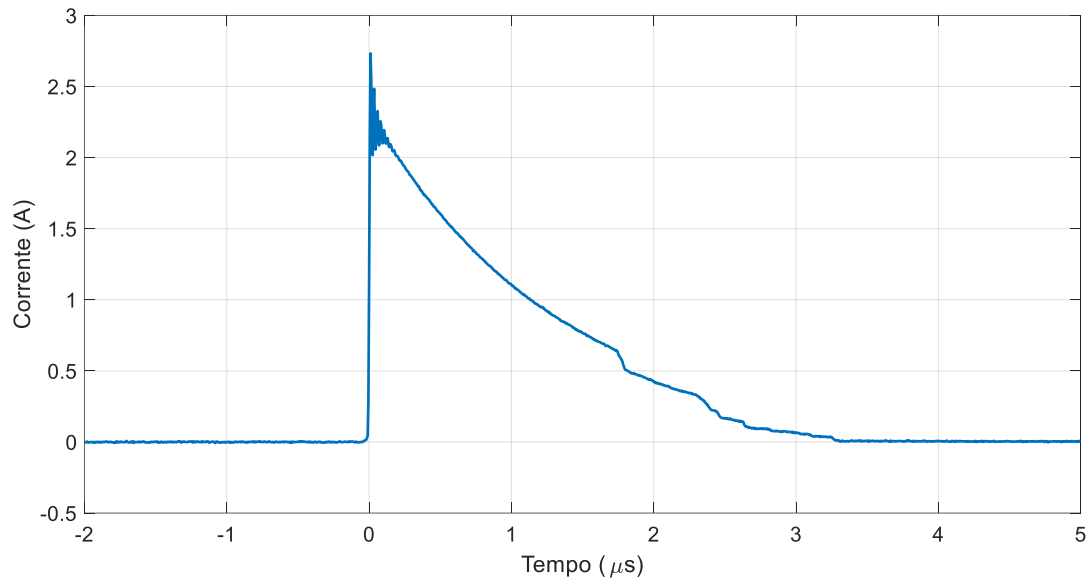
## 5.3 Misure su impulsi singoli

---

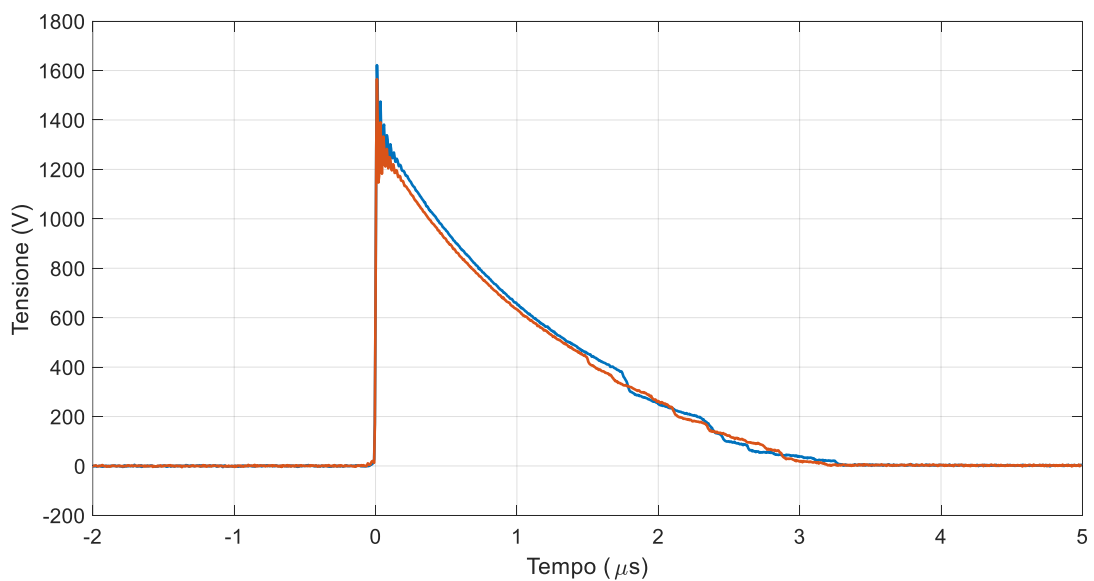
Figura 5 mostra la forma d'onda tipica di un impulso di tensione prodotto dallo storditore sotto carico. La tensione è lontana dal valore di 10 MV pubblicizzato su Internet (irragionevole anche se si riferisse al valore a vuoto).



**Figura 5.** Forma d'onda tipica di un impulso di tensione prodotto dallo storditore connesso a un carico da  $594 \Omega$ .



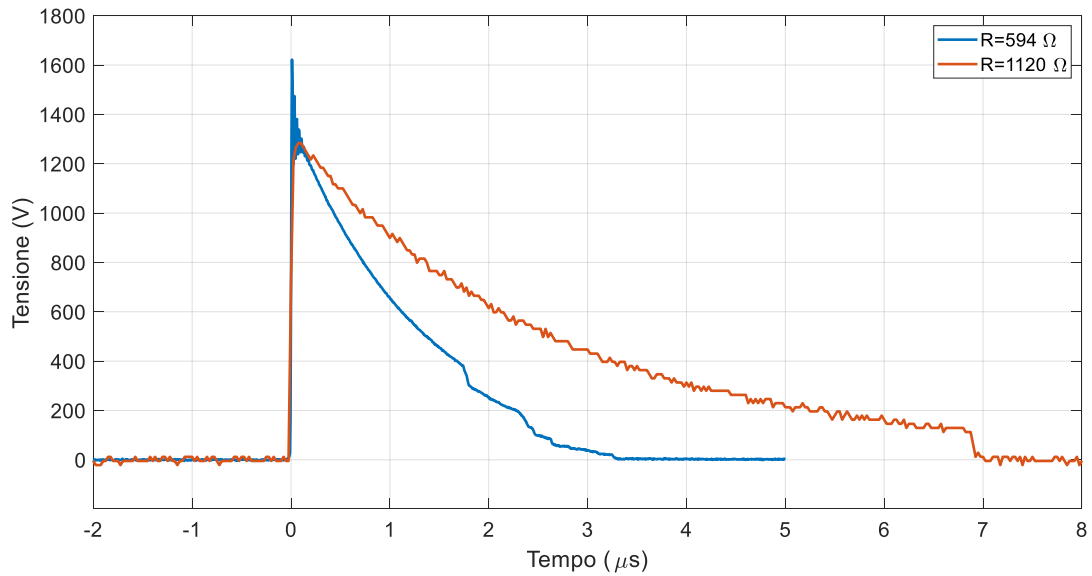
**Figura 6.** Forma d'onda tipica di un impulso di corrente prodotto dallo storditore connesso a un carico da 594 Ω.



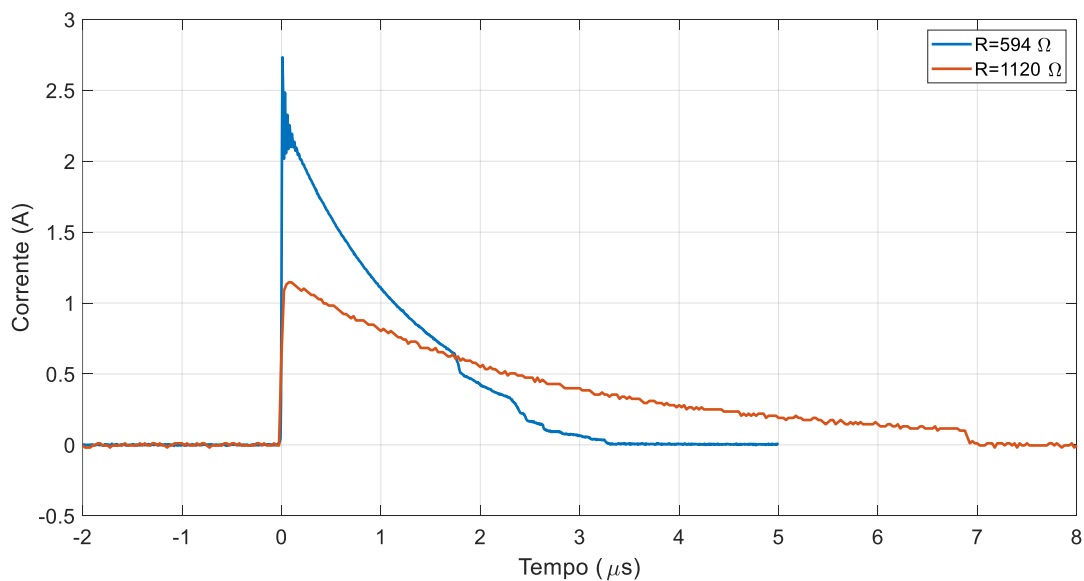
**Figura 7.** Confronto tra due impulsi di tensione prodotti dallo storditore sullo stesso carico (594 Ω) in momenti diversi.

La corrente dello stesso impulso, ottenuta tramite la formula (1), è mostrata in Figura 6. La corrente risultante è notevole, sicuramente mortale se fosse continuativa, ma bisogna considerare che è solo un picco che dura pochi microsecondi.

Gli impulsi non sono perfettamente identici ma sono abbastanza simili tra di loro. Figura 7 confronta due impulsi misurati sullo stesso carico ( $R=594 \Omega$ ) in momenti diversi e poi allineati.



**Figura 8.** Confronto tra impulsi di tensione prodotti dallo storditore connesso a carichi diversi (rispettivamente 594 Ω e 1120 Ω).



**Figura 9.** Confronto tra impulsi di corrente prodotti dallo storditore connesso a carichi diversi (rispettivamente 594 Ω e 1120 Ω).

Gli impulsi sono invece diversi quando viene cambiato il carico, come mostrato in Figura 8 per la tensione e Figura 9 per la corrente.

### 5.3.1 Valori stimati su un singolo impulso

È importante sottolineare che, poiché la forma d'onda non è affatto sinusoidale, il valore efficace della corrente va calcolato mediante la formula completa (5) e assolutamente non quella semplificata tipo (9).

Con i valori tipici mostrati in Figura 9, si possono stimare le correnti in Tabella 5. I valori della tabella saranno stimati meglio nel seguito. Soprattutto, si farà riferimento a valori di  $T$  più specifici.

Come si può notare in Tabella 5, i valori efficace di tensione sono molto simili per carichi diversi. Questo è dovuto al fatto che si sta concentrando il tempo di integrazione solo sulla durata dell'impulso. Gli impulsi di durata maggiore peserebbero di più su un calcolo esteso al periodo o a tempi più lunghi.

In ogni caso, la componente DC calcolata su un periodo è relativamente trascurabile.

Dalle curve è abbastanza evidente che la durata dell'impulso  $\Delta t \approx t_{scarica} \approx 4\tau$  è direttamente proporzionale al carico applicato. Per risultati più accurati occorrerebbe effettuare un fit della curva esponenziale ed avere misure a più carichi  $R$  per identificare le resistenze parassite.

**Tabella 5.** Parametri principali di un impulso dello Storditore A in base al carico applicato.

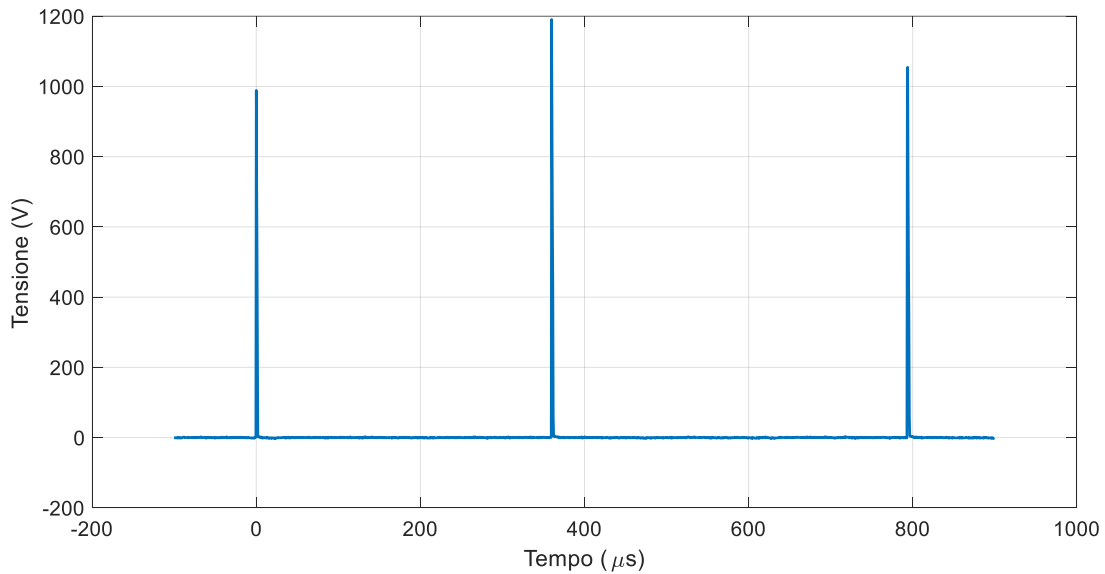
Parametro	Unità di misura	Carico $R=594 \Omega$	Carico $R=1120 \Omega$
<b>Valori misurati</b>			
<b>Durata singolo impulso <math>\Delta t</math></b>	$\mu s$	$\approx 3$	$\approx 7$
<b><math>I_{eff}</math> sulla durata dell'impulso <math>\Delta t</math></b>	mA	$\approx 706$	$\approx 366$
<b><math>I_{DC}</math> sulla durata dell'impulso <math>\Delta t</math></b>	mA	$\approx 376$	$\approx 212$
<b><math>V_{eff}</math> sulla durata dell'impulso <math>\Delta t</math></b>	V	$\approx 419$	$\approx 410$
<b><math>V_{DC}</math> sulla durata dell'impulso <math>\Delta t</math></b>	V	$\approx 223$	$\approx 237$
<b>Energia <math>E_{pulse}</math> trasferita dall'impulso</b>	mJ	$\approx 2$	$\approx 2$
<b>Valori approssimativi basati su un periodo <math>T=400 \mu s</math></b>			
<b>Periodo <math>T</math></b>	$\mu s$	$\approx 400$	$\approx 400$
<b>Duty cycle <math>\delta</math></b>	%	$\approx 0.75$	$\approx 1.75$
<b><math>I_{eff}</math> su un periodo <math>T</math></b>	mA	$\approx 66$	$\approx 48$
<b><math>I_{DC}</math> su un periodo <math>T</math></b>	mA	$\approx 3$	$\approx 4$
<b><math>V_{eff}</math> su un periodo <math>T</math></b>	V	$\approx 39$	$\approx 54$
<b><math>V_{DC}</math> su un periodo <math>T</math></b>	V	$\approx 2$	$\approx 4$

#### 5.4 Misure su treni di impulsi successivi

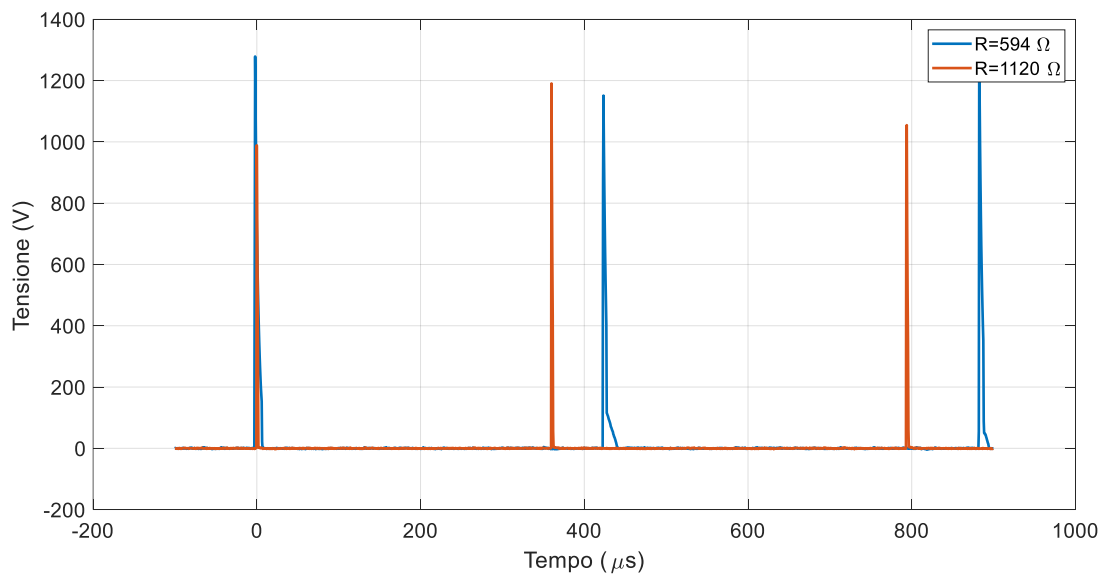
Quando il pulsante di attivazione rimane premuto, lo storditore genera un treno di impulsi come in Figura 10. Ogni impulso ha le caratteristiche mostrate precedentemente. Dalla Figura 10 potrebbe sembrare che il picco di tensione sia molto variabile. In realtà, questo è soprattutto dovuto al fatto che per acquisizioni lunghe rispetto al passo di campionamento è difficile campionare la forma d'onda sempre nello stesso istante. Quindi gli impulsi sono in realtà più simili tra loro di quello che appare nel grafico. Quello che però è osservabile è la distanza tra gli impulsi (periodo), che è accurata con una incertezza

massima di  $\pm 2 \mu\text{s}$ . Per il carico da  $1120 \Omega$  l'incertezza massima è  $\pm 4 \mu\text{s}$ . Entrambi i valori sono trascurabili rispetto ai valori tipici degli intervalli, sempre maggiori di  $\approx 200 \mu\text{s}$ .

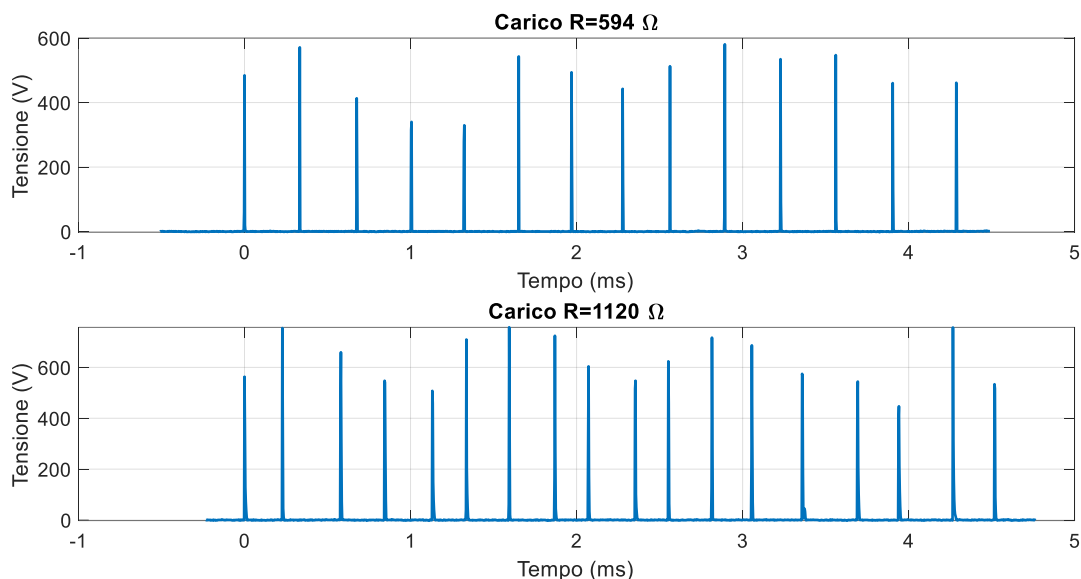
Figura 11 confronta la distanza tra gli impulsi nel caso di carichi diversi. Cercando di allineare i primi impulsi, quelli successivi sono a distanza più ravvicinata per il carico maggiore.



**Figura 10.** Tre impulsi successivi prodotti dallo storditore tenendo premuto il pulsante di attivazione. Il valore di picco visibile è poco accurato, ma la registrazione è utile per valutare la distanza temporale tra impulsi.



**Figura 11.** Tre impulsi successivi prodotti dallo storditore su carichi diversi. Il valore di picco visibile è poco accurato, ma la registrazione è utile per valutare la distanza temporale tra impulsi.



**Figura 12.** Treni di impulsi prodotti dallo storditore su carichi diversi quando si tiene premuto il tasto di attivazione. Il valore di picco visibile è poco accurato, ma la registrazione è utile per valutare la distanza temporale tra impulsi.

**Tabella 6.** Stima semplificata della corrente efficace su un treno di impulsi.

Parametro	Unità di misura	R=594 Ω	R=1120 Ω
Durata singolo impulso $\Delta t$	$\mu s$	$\approx 3$	$\approx 7$
$I_{effpulse}$ su singolo impulso	mA	$\approx 706$	$\approx 366$
$I_{DCpulse}$ su singolo impulso	mA	$\approx 376$	$\approx 212$
Finestra di tempo totale $T$	ms	5	5
Numero di impulsi $N$ (nella finestra $T$ )	–	14	18
$I_{eff}$ totale sul treno di impulsi (finestra $T$ )	mA	$\approx 65$	$\approx 58$
$I_{DC}$ totale sul treno di impulsi (finestra $T$ )	mA	$\approx 3$	$\approx 5$
$V_{eff}$ totale sul treno di impulsi (finestra $T$ )	V	$\approx 39$	$\approx 65$
$V_{DC}$ totale sul treno di impulsi (finestra $T$ )	V	$\approx 2$	$\approx 6$
$E_{tot}$ del treno di impulsi (finestra $T$ )	mJ	$\approx 28$	$\approx 36$

#### 5.4.1 Corrente efficace e media su treni di impulsi

È possibile stimare il valore efficace della corrente su più impulsi a partire dalle stime di corrente efficace su un singolo impulso in Tabella 5.

La diversa distanza  $T_n$  tra gli impulsi in Figura 11 è dovuta al fatto che probabilmente lo storditore è controllato in corrente, come è giusto che sia, quindi tende ad erogare una corrente intorno ad un valore obiettivo (che potrebbe essere 50 mA efficaci o 50 mA DC) indipendentemente dal carico presente. Quando lo storditore rileva impulsi di corrente con picchi o valori efficaci più bassi, compensa accorciando la distanza tra impulsi.

La Figura 12 mostra la distanza tra impulsi su finestre più lunghe per i due carichi considerati. Anche in questo caso non è importante il valore di picco registrato, che può essere anche casuale. È invece importante notare la distanza tra picchi, più ravvicinati nel secondo caso.

Con un approccio semplificato, è possibile stimare il valore efficace di più impulsi semplicemente contando il numero di impulsi  $N$  in una certa unità di tempo  $T$ :

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=1}^N \int_0^{T_N} i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=1}^N (T_n \cdot I_{\text{eff}_n}^2)} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=1}^N \left( T_n \cdot \frac{T_{\text{pulse}}}{T_n} I_{\text{eff}_{\text{pulse}}}^2 \right)} \quad (13)$$

$$= \sqrt{N \frac{T_{\text{pulse}}}{T} I_{\text{eff}_{\text{pulse}}}^2}$$

Analogamente:

$$I_{\text{DC}} = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^N \int_0^{T_N} i(t) dt = N \frac{T_{\text{pulse}}}{T} I_{\text{DC}_{\text{pulse}}} \quad (14)$$

La somma è molto più semplice per l'energia:

$$E_{\text{tot}} = N \cdot E_{\text{pulse}} \quad (15)$$

I risultati di queste formule sono riassunti nella Tabella 6.

Anche con questo metodo, la componente DC calcolata su un intervallo di tempo lungo è relativamente trascurabile.

È utile sottolineare che il conteggiato degli impulsi è probabilmente sottostimato soprattutto per il caso di 594  $\Omega$ , perché c'è una lunga attesa all'inizio. Questa incertezza si può ridurre allungando la finestra di osservazione.

#### 5.4.2 Statistiche su treni di impulsi

La Figura 12 mostra la distanza tra impulsi su finestre più lunghe per i due carichi considerati. Anche in questo caso non è importante il valore di picco registrato, che può essere anche casuale. È invece importante notare la distanza tra picchi, più ravvicinati nel secondo caso.

Da questi treni di impulsi è possibile ricavare diverse statistiche presentate negli istogrammi.

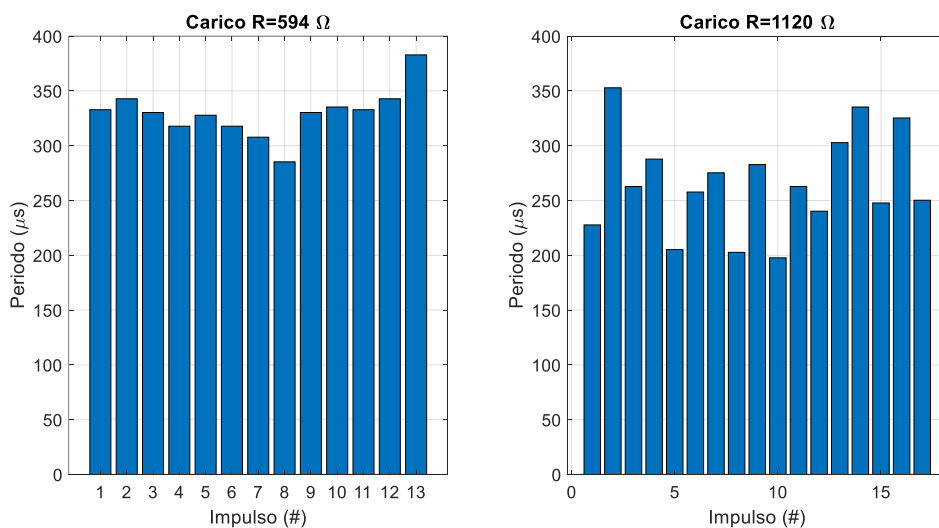
Figura 13 confronta i valori del periodo  $T_n$  (distanza tra impulsi successivi) stimati per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.

Figura 14 confronta i valori della frequenza principale, stimati come  $1/T_n$ , per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.

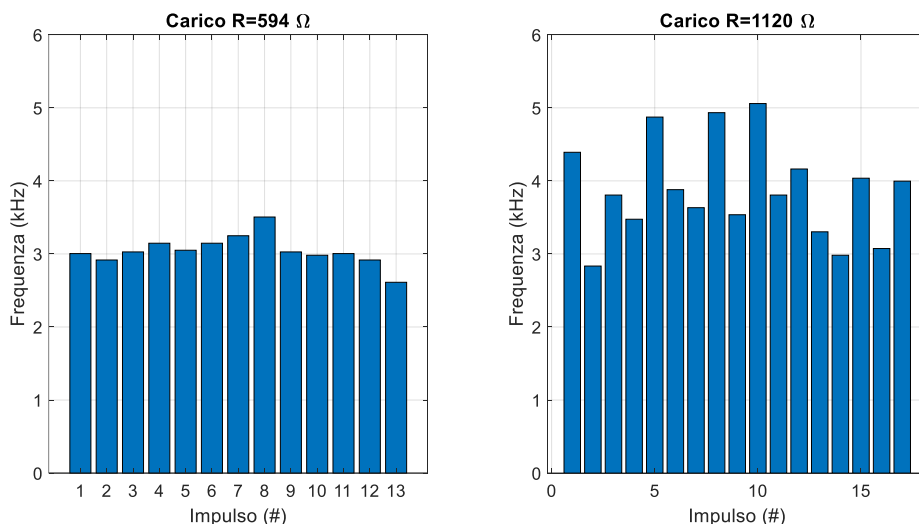
Figura 15 confronta i valori del duty cycle  $\delta$  per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.

Figura 16 e Figura 17 confrontano i valori efficaci e DC delle correnti stimate per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.

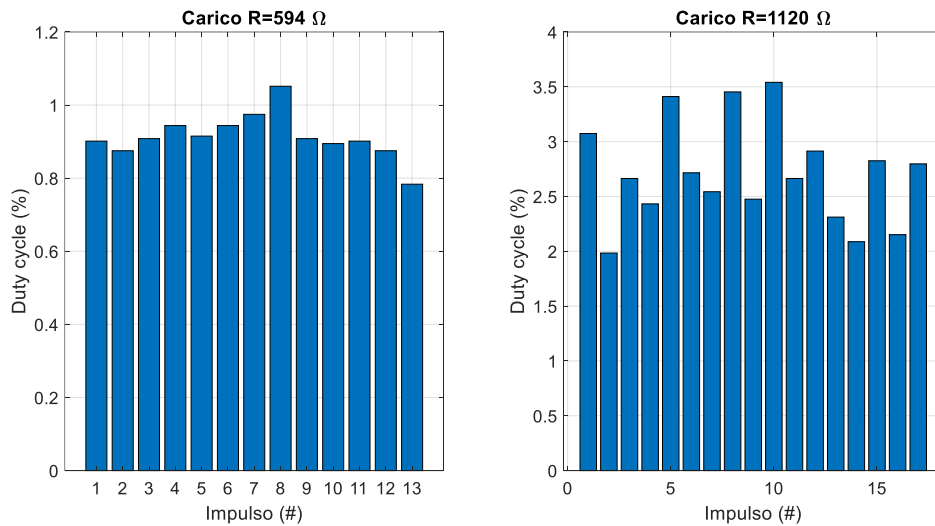
La Figura 16 è particolarmente interessante perché riassume i valori efficaci di corrente che lo storditore può tipicamente applicare al corpo umano.



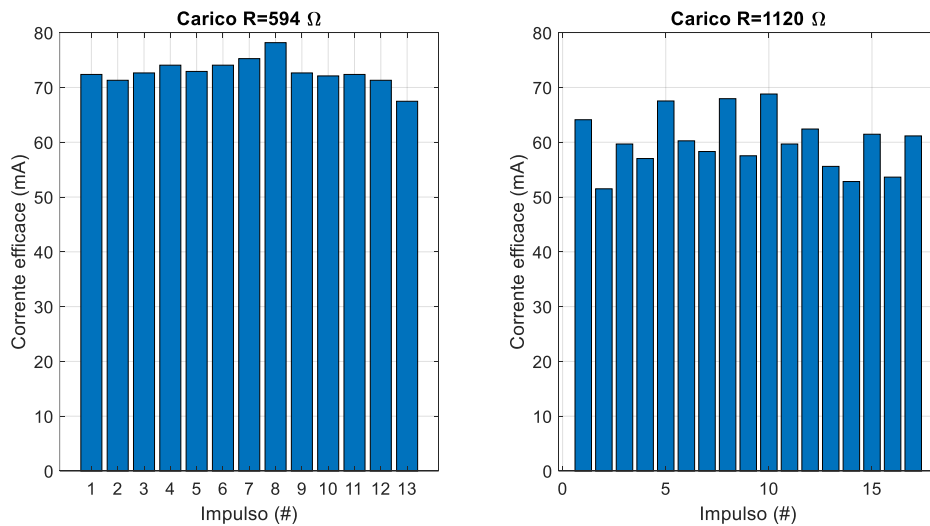
**Figura 13.** Valori del periodo  $T$  (distanza tra impulsi successivi) stimati per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.



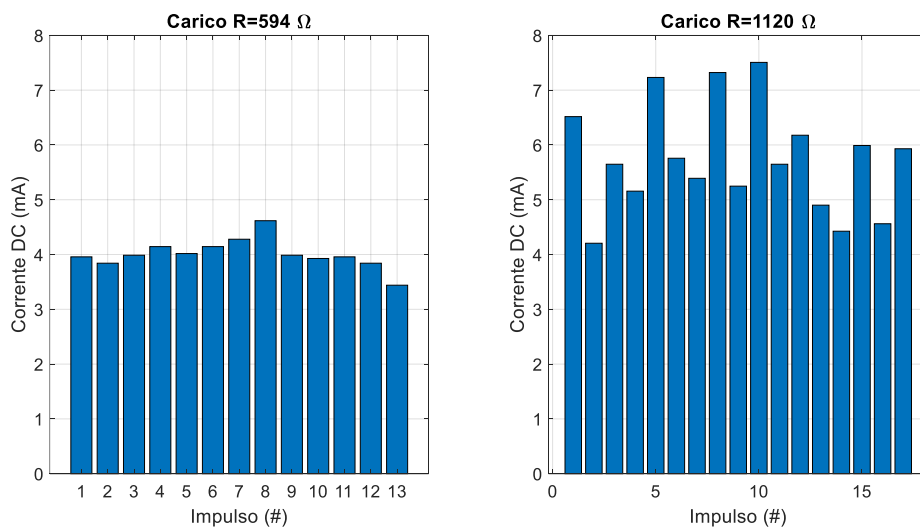
**Figura 14.** Valori della frequenza principale per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.



**Figura 15.** Valori del duty cycle  $\delta$  per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.



**Figura 16.** Valori efficaci delle correnti stimati per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.



**Figura 17.** Valori della componente DC delle correnti stimati per i treni di impulsi acquisiti su una finestra di 5 ms per i diversi carichi di prova.

## 5.5 Riepilogo risultati

La Tabella 6 riassume i valori ottenuti dagli istogrammi, in particolare la corrente efficace che lo storditore può applicare al corpo umano. Per completezza, Tabella 8 indica anche la potenza erogata corrispondente alla corrente efficace.

**Tabella 7.** Riassunto dei valori approssimati ricavabili dagli istogrammi.

Parametro		Unità di misura	R=594 $\Omega$	R=1120 $\Omega$
Durata singolo impulso		$\mu\text{s}$	3	7
$I_{\text{eff}}$ su singolo impulso		mA	706	366
Periodo $T_n$ (istogrammi)	Minimo	$\mu\text{s}$	285	198
	Medio	$\mu\text{s}$	330	266
	Massimo	$\mu\text{s}$	383	353
Duty cycle $\delta_n$ con $T_n$	Minimo	%	0.78	1.98
	Medio	%	0.91	2.71
	Massimo	%	1.05	3.54
$I_{\text{effpulse}}$ su treni di impulsi con periodo $T_n$	Minimo	mA	67	52
	Medio	mA	73	60
	Massimo	mA	78	69
$I_{\text{eff}}$ su treni di impulsi secondo Tabella 6		mA	65	58

**Tabella 8.** Riassunto della potenza approssimata ricavabile dagli istogrammi.

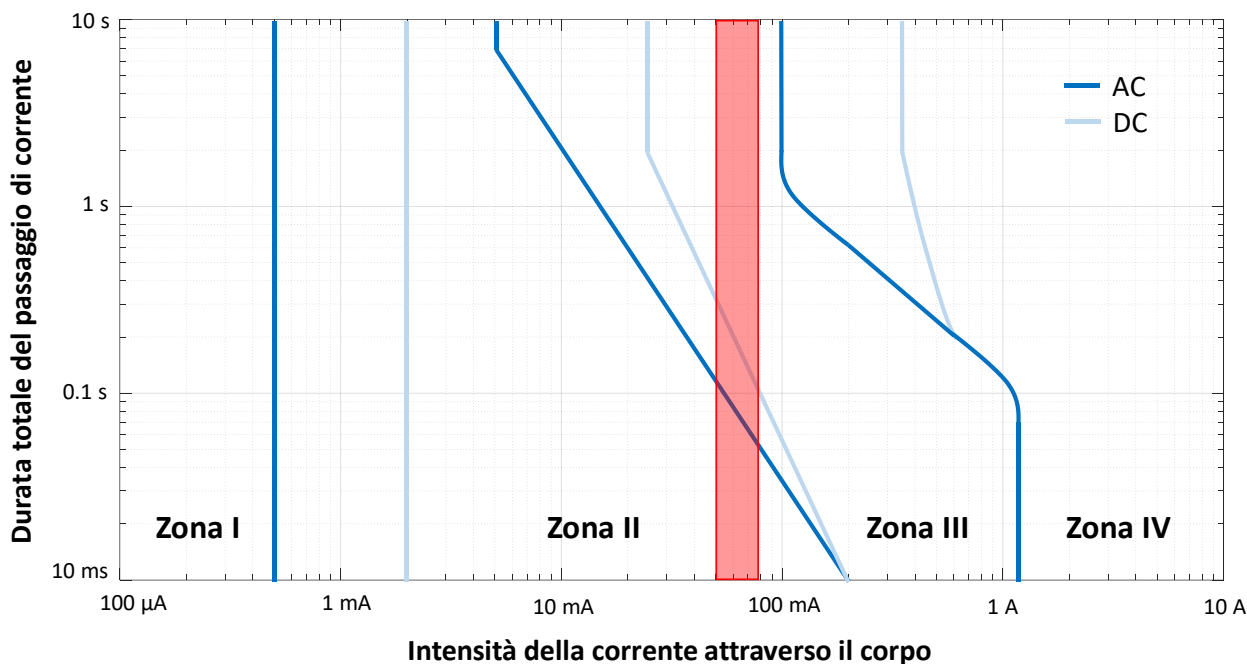
Parametro		Unità di misura	R=594 $\Omega$	R=1120 $\Omega$
Potenza $P$ per treni di impulsi di corrente $I_{\text{eff}}$	Minimo	W	2.7	3.0
	Medio	W	3.2	4.0
	Massimo	W	3.6	5.3
Potenza $P$ da $I_{\text{eff}}$ secondo Tabella 6		W	2.5	3.8

**Tabella 9.** Riassunto dei valori di corrente applicabili dallo Storditore A al corpo umano.

Parametro	Minima	Massima
$I_{\text{eff}}$ applicabile dallo storditore su un corpo umano	52 mA	78 mA

## 5.6 Considerazioni sulla pericolosità dello Storditore A

Considerando che la resistenza del corpo umano è convenzionalmente inclusa tra i due valori di carico  $R$  considerati nelle misure (594  $\Omega$  e 1120  $\Omega$ ), la Tabella 9 riassume solo i valori massimi e minimi di corrente efficace che lo storditore può applicare al corpo umano.



**Figura 18.** Area delle correnti erogabili dallo Storditore A (in rosso) sovrapposta alle curve e alle zone di sensibilità del corpo umano secondo le norme IEC.

In Figura 18 le misure e le stime effettuate sullo storditore sono state confrontate con le curve di Figura 3 derivanti dagli standard IEC [18] e [27]. Le zone schematizzate in Figura 18 sono definite nella Tabella 3.

A titolo di riferimento, negli impianti domestici civili è obbligatoria l'installazione di un interruttore differenziale con una soglia di interruzione della corrente tarata a 30 mA ( $I_{\text{eff AC}}$ ), che può diventare 10 mA in locali particolari. Questo vuol dire che lo storditore in oggetto riesce ad erogare una corrente anche doppia del valore considerato prudenzialmente sicuro per ambienti domestici.

La pericolosità dello Storditore A dipende dalla durata dell'applicazione della scarica:

- Per scariche di brevissima durata (<100 ms), si potrebbe restare nella Zona II, nella quale lo storditore produce una sensazione di dolore, ma con bassa probabilità di effetti fisiologicamente pericolosi.
- D'altra parte, è sufficiente applicare la scarica per una frazione di secondo ( $\approx 200$  ms) per entrare nella Zona III, dove esiste la concreta possibilità di indurre un arresto cardiaco anche con correnti modeste.

Vale la pena notare che nelle "istruzioni" (assolutamente inaffidabili) dello Storditore A vengono classificati gli effetti di applicazioni brevi ( $\leq 250$  ms), medie (<4 s) o lunghe (5 s), in cui le ultime sono considerate anche "piene".

È importante aggiungere che la variabilità della resistenza del corpo e delle altre condizioni potrebbero diminuire ma anche aumentare questi rischi nella pratica. Inoltre, alcune condizioni fisiopatologiche individuali (ad esempio, aritmie cardiache) potrebbero aumentare in modo anche significativo il rischio di effetti avversi alla salute.



## 6 Caratterizzazione dello Storditore B

---

### 6.1 Aspetti generali dello storditore

---

Lo Storditore B oggetto delle prove ha una dimensione massima di circa 15 cm con una impugnatura adatta alla presa ad una mano. Visti i problemi legali, si è deciso di non mostrare immagini dello storditore.

Gli elettrodi sono sporgenti verso l'esterno. Anche in questo caso, gli elettrodi sembrano quattro, ma in realtà quelli elettricamente indipendenti sono solo due. Quelli più interni sono appuntiti per favorire l'arco elettrico, utile come effetto visivo.

Lo storditore è alimentato da batterie ricaricabili interne. In questo caso non è stato possibile rimuovere le batterie dello storditore senza rischiare di danneggiarlo.

### 6.2 Carichi di prova

---

Lo storditore deve essere provato su un carico tra i due elettrodi elettricamente indipendenti per misurarne la corrente erogata. Vista la particolare geometria dello storditore, non è stato interposto tra gli elettrodi un setto isolante per evitare la formazione dell'arco elettrico. L'impedenza più bassa offerta dai carichi rispetto all'aria è stata ritenuta sufficiente, come è stato confermato dalla pratica.



**Figura 19.** I due carichi di prova preparati appositamente per le prove sugli storditori.

I due carichi di prova mostrati in Figura 19 sono stati preparati appositamente per le prove presentate in questo capitolo. Tali carichi sono costituiti da più resistori in serie anche allo scopo di disporre di partitori di misura nel caso in cui i valori di tensioni fossero troppo alti per i trasduttori disponibili. Al di là dei valori nominali dei resistori, i valori effettivi delle resistenze di carico sono stati verificati con un multimetro (ohmetro) digitale Agilent 34420A, misurando rispettivamente i seguenti valori:

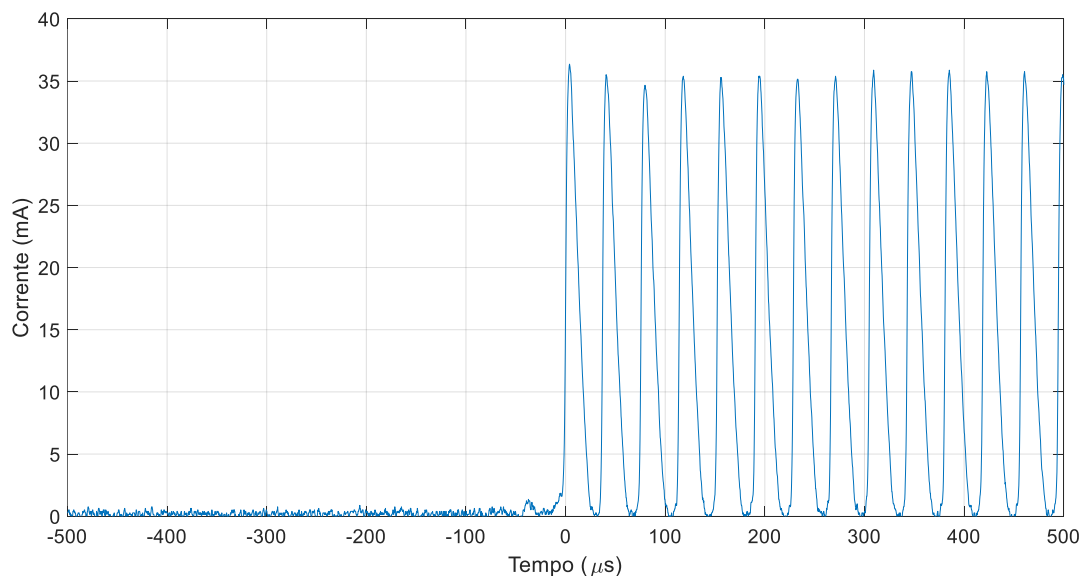
1. Per il carico con etichetta  $503 \Omega$ , la resistenza DC effettivamente misurata con il multimetro è stata pari a  $502.16 \Omega$  (per brevità, indicata come  $502 \Omega$  nel seguito).
2. Per il carico con etichetta  $1100 \Omega$ , la resistenza DC misurata con il multimetro è stata pari a  $1101.83 \Omega$  (per brevità, indicata come  $1102 \Omega$  nel seguito).

### 6.3 Fasi e modalità di oscillazione dello Storditore B

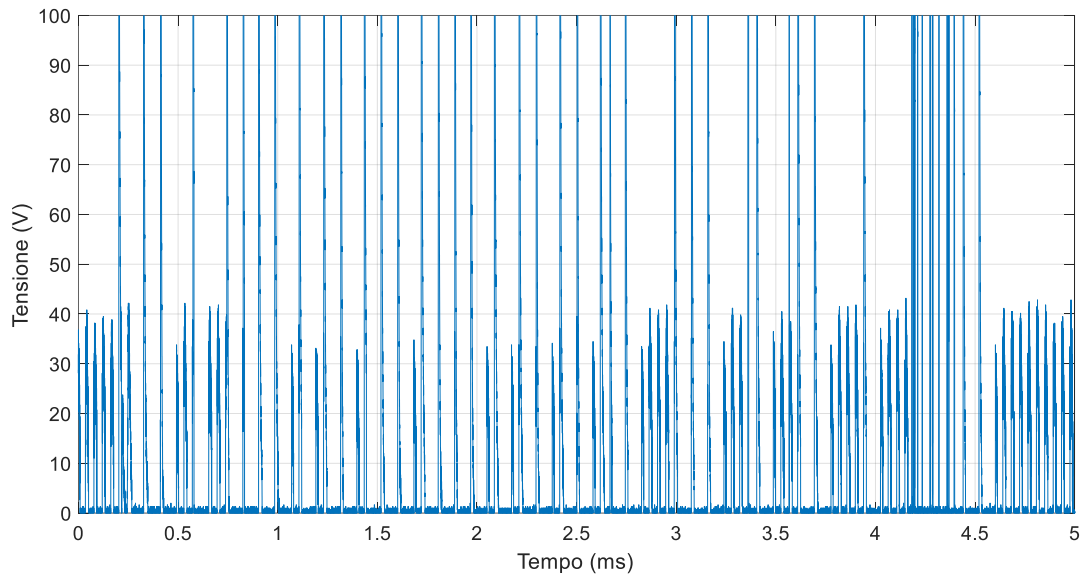
---

Quando il pulsante di attivazione viene premuto, lo storditore genera dapprima una tensione pari alla massima che può produrre (circa  $800 \text{ V}$ ). Quando tale tensione è in grado di stabilire buoni contatti tra gli elettrodi e il carico, tipicamente dopo un tempo molto breve, la corrente inizia a scorrere e lo storditore opera nel suo funzionamento normale, erogando una corrente approssimativamente costante.

Figura 20 mostra una situazione in cui l'aggancio del carico è praticamente immediato, grazie all'ottimo contatto garantito dai resistori di carico e dalle loro connessioni.



**Figura 20.** Esempio di aggancio immediato del carico (in questo esempio  $1102 \Omega$ ) da parte dello storditore (il pulsante di attivazione è stato premuto al tempo zero).



**Figura 21.** Esempio di difficoltà dello storditore ad agganciare il carico (in questo esempio  $1102 \Omega$ ). Si nota l'alternarsi di diverse fasi di aggancio (tensione intorno a 40 V) e sgancio (tensione oltre 100 V).

In altre situazioni, l'aggancio è più problematico. Figura 21 mostra un esperimento in cui il contatto con il carico viene agganciato (quando la tensione è intorno a 40 V) e perso (tensione superiore a 100 V, anche fino oltre 800 V) più volte nel tempo. Questo problema può essere dovuto a più cause: contatti non ideali, variabilità dell'arco elettrico, batterie scariche, surriscaldamento del dispositivo.

Lo Storditore B è stato visto oscillare anche abbastanza stabilmente sia a basso che ad alto duty cycle (vedi Capitolo 4.2), anche se più spesso nella seconda modalità.

#### 6.4 Misure in modalità a basso duty cycle

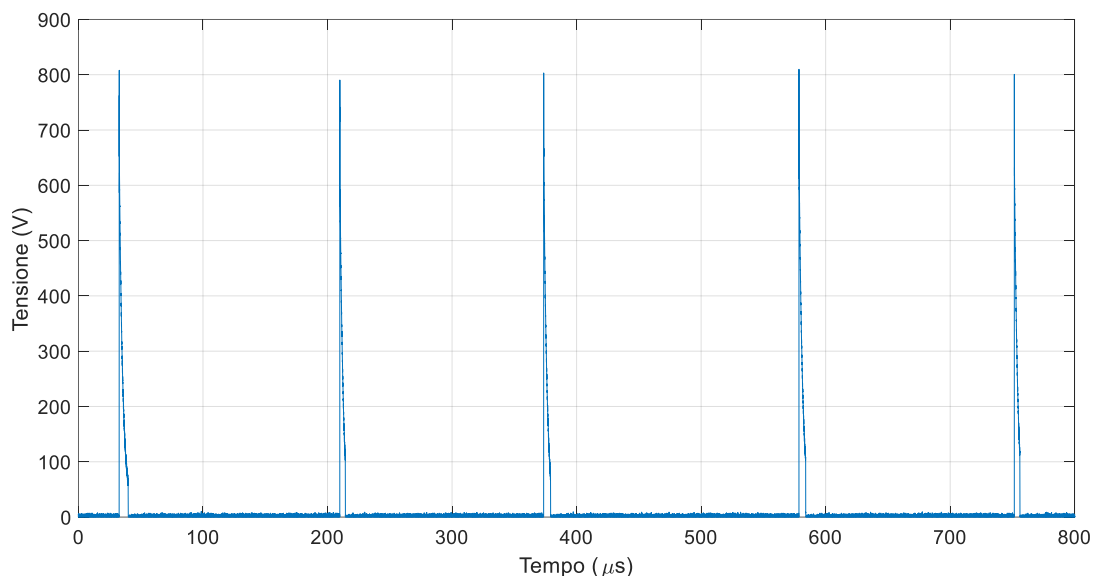
---

Come introdotto nel Capitolo 4.2, nelle oscillazioni a basso duty cycle la tensione (di picco) è quasi costante e la corrente dipende dal carico semplicemente secondo la (1).

Anche se l'erogazione di corrente a basso duty cycle, è avvenuta più raramente, è importante studiare le caratteristiche delle forme d'onda relative. La tensione nel caso di  $1102 \Omega$  è mostrata in Figura 22.

Tabella 5 riassume i parametri principali dello storditore stimati in questa situazione.

Poiché la forma d'onda in Figura 22 non affatto è sinusoidale, il valore efficace della corrente va calcolato applicando la formula completa (5) e non mediante quella semplificata (9) o simili.



**Figura 22.** Forma d'onda di tensione durante le oscillazioni a basso duty cycle (con carico 1102  $\Omega$ ).

**Tabella 10.** Parametri principali dello Storditore B quando oscilla a basso duty cycle su un carico da 1102  $\Omega$ .

Parametro	Unità di misura	Valore
<b>Durata singolo impulso <math>\Delta t</math></b>	Ms	5÷7
<b>Periodo <math>T</math></b>	Ms	160÷200
<b>Duty cycle <math>\delta</math></b>	%	2.5÷4.4
<b><math>V_{eff}</math></b>	V	$\approx 56.3$
<b><math>V_{DC}</math></b>	V	$\approx 7.9$
<b><math>I_{eff}</math></b>	mA	$\approx 51.1$
<b><math>I_{DC}</math></b>	mA	$\approx 7.2$
<b>Potenza <math>P</math> da <math>I_{eff}</math></b>	mW	$\approx 0.9$

Per questo storditore si potrebbe anche considerare separatamente la parte di impulso da quella di pausa, ma è stato possibile calcolare direttamente i valori medi ed efficaci su più impulsi. Nel calcolo, occorre prestare attenzione al fatto di integrare su un numero intero di periodi o, in alternativa, su un tempo sufficientemente lungo (molti periodi) per limitare le incertezze dovute al calcolo su periodi non interi.

È interessante notare che il valore della corrente efficace in Tabella 5 è simile a quello stimato per lo Storditore A per un carico simile.

Non si sono registrate oscillazioni a basso duty cycle per il carico da 502  $\Omega$ , tuttavia è ragionevole ipotizzare che in questo caso gli impulsi e la relativa corrente sarebbero simili a quanto stimato per lo Storditore A ( $\approx 78$  mA).

## 6.5 Misure in modalità ad alto duty cycle

---

Quando il pulsante di attivazione rimane premuto, lo storditore genera treni di impulsi. Figura 5 mostra la forma d'onda tipica prodotta dallo storditore sotto carico. La corrente della stessa forma d'onda, ottenuta tramite la formula (1), è mostrata in Figura 6.

La forma degli impulsi cambia con il carico applicato, ma sembra che quelli di corrente siano più simili tra loro: probabilmente, il controllo del dispositivo cerca di ottenere una corrente costante al variare del carico, come è giusto che sia. La differenza con lo Storditore A, più che al diverso principio di funzionamento, sembra legata alla possibilità di oscillare con alto duty cycle.

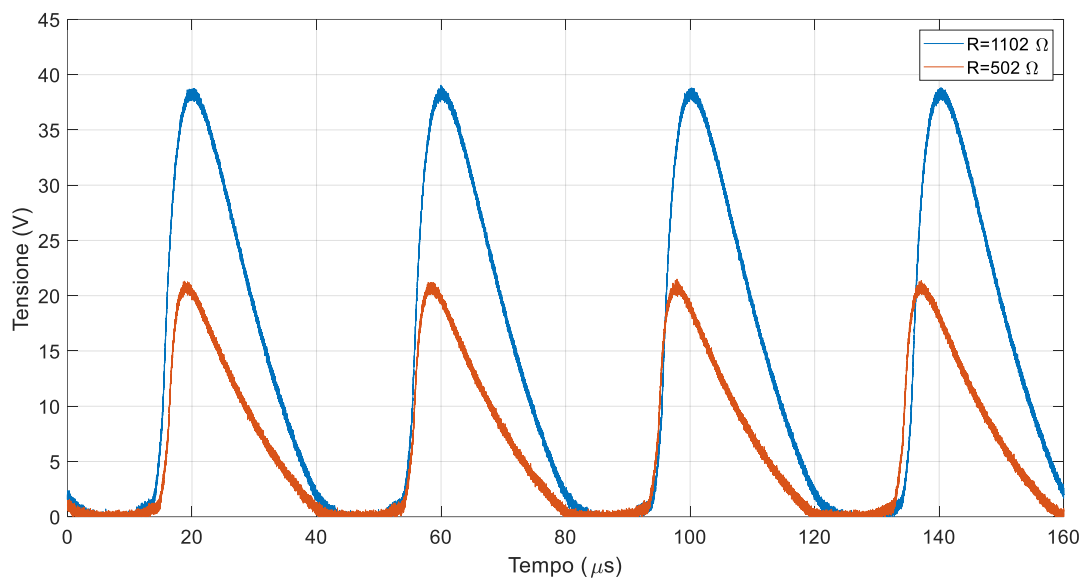
In Figura 23 e Figura 24 è possibile osservare che gli impulsi hanno caratteristiche quasi periodiche con un periodo di circa 40  $\mu$ s. Il periodo è leggermente più lungo nel caso con  $R=1102 \Omega$ . Questo potrebbe essere dovuto a un diverso tempo di scarica esponenziale, che, come visto per lo Storditore A, è abbastanza proporzionale al carico. L'effetto è comunque trascurabile, perché prevale il tempo di ricarica tra un impulso e l'altro che non dipende dal carico. Comunque, in questo caso, il periodo della forma d'onda è un dato statistico che non ha particolari influenze sul metodo di stima dei valori efficaci e medi.

Tabella 11 riassume i parametri principali dello Storditore B stimati con le misure sperimentali, in particolare la corrente efficace che lo storditore può applicare al corpo umano. Per completezza, Tabella 11 indica anche la potenza erogata corrispondente alla corrente efficace.

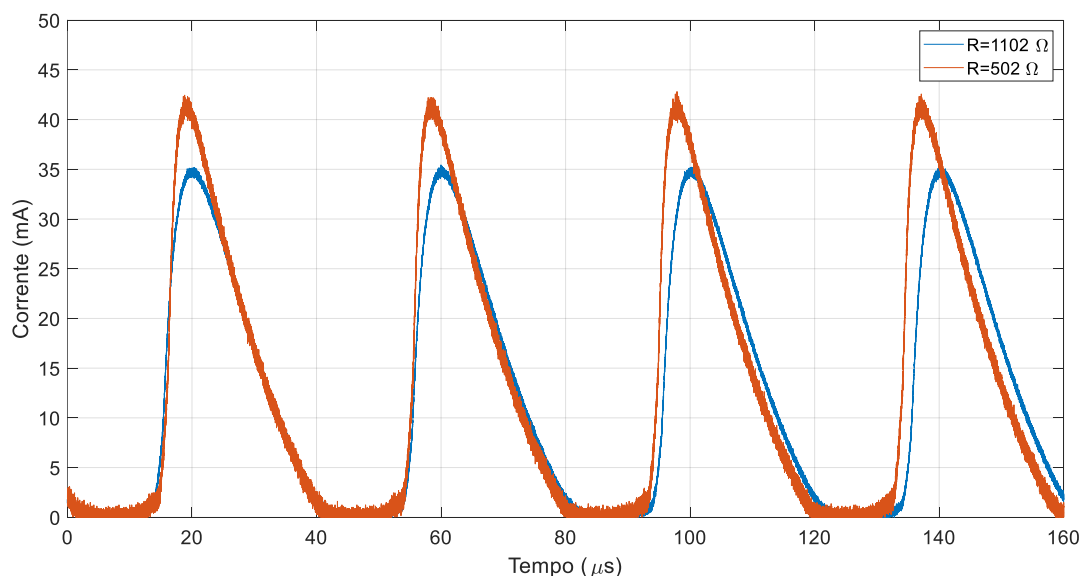
Anche in questo caso la forma d'onda non è sinusoidale e il valore efficace della corrente va calcolato mediante la formula completa (5).

Per questo storditore si potrebbe anche considerare separatamente la parte di impulso da quella di pausa, ma non ha grande utilità pratica. Conviene calcolare i valori efficaci e medi su più impulsi. Nel calcolo, occorre prestare attenzione al fatto di integrare su un numero intero di periodi o, in alternativa, su un tempo sufficientemente lungo (molti periodi) per limitare le incertezze dovute al calcolo su periodi non interi.

Per questo storditore, la componente DC non è trascurabile rispetto alla corrente totale.



**Figura 23.** Forme d'onda di tensione prodotte dallo storditore per due carichi resistivi diversi.



**Figura 24.** Forme d'onda di corrente prodotte dallo storditore per due carichi resistivi diversi.

**Tabella 11.** Parametri principali dello Storditore B in base al carico applicato.

Parametro	Unità di misura	Carico $R=502 \Omega$	Carico $R=1102 \Omega$
Durata singolo impulso $\Delta t$	$\mu s$	$\approx 25$	$\approx 25$
Periodo $T$	$\mu s$	$\approx 40$	$\approx 40$
Duty cycle $\delta$	%	$\approx 62.5$	$\approx 62.5$
$V_{eff}$	V	9.7	18.5
$V_{DC}$	V	6.7	12.6
$I_{eff}$	mA	19.4	16.8
$I_{DC}$	mA	13.3	11.4
Potenza $P$ da $I_{eff}$	mW	188.5	309.6

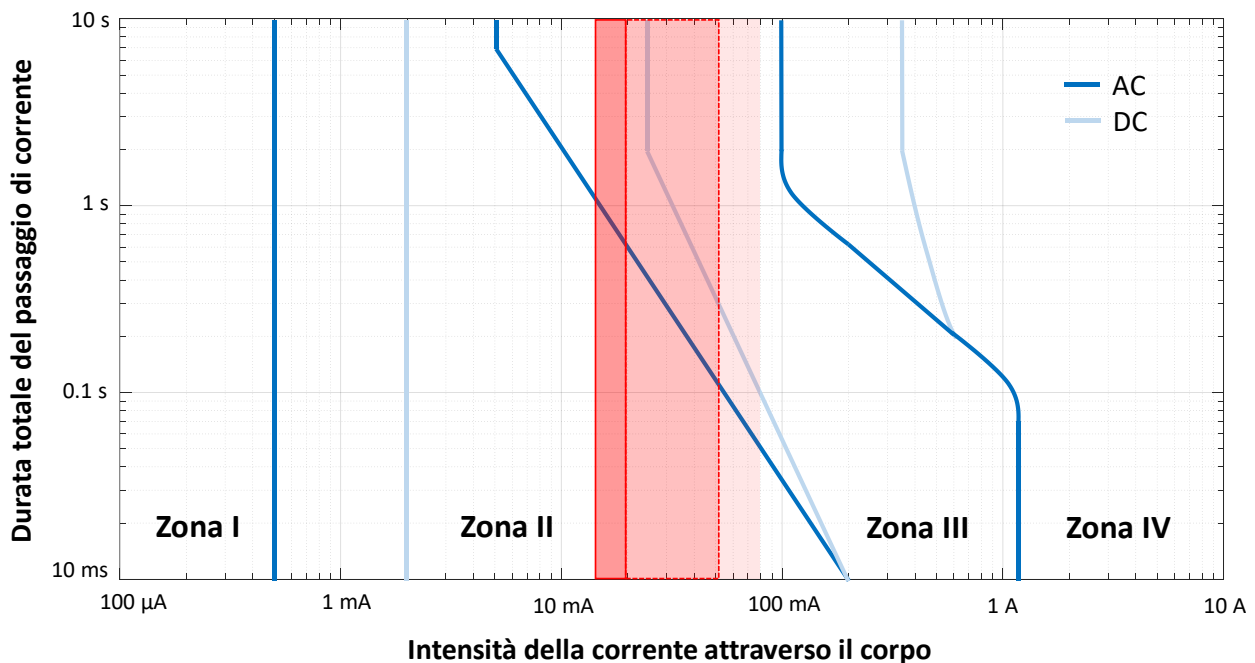
## 6.6 Considerazioni sulla pericolosità dello Storditore B

Considerando che la resistenza del corpo umano è convenzionalmente inclusa tra i due valori di carico  $R$  considerati nelle misure (502  $\Omega$  e 1102  $\Omega$ ), i valori in Tabella 11 corrispondono a quelli massimi e minimi di corrente efficace che lo Storditore B può applicare al corpo umano. La Tabella 12 riassume solo i valori massimi e minimi di corrente efficace che lo Storditore B può applicare al corpo umano, come riportati in Tabella 11, ma anche in Tabella 10. La corrente erogata a basso duty cycle risulta superiore rispetto all'altro caso, anche se questa modalità è raggiunta più raramente. Nei casi reali, con carichi variabili, probabilmente le due fasi si presenteranno intervallata tra loro.

Sembrerebbe che lo Storditore B sia stato concepito per applicare massimo 20 mA efficaci al corpo umano quando oscilla ad alto duty cycle. Occorre però considerare che non è detto che questo sia mantenuto a resistenze inferiori.

**Tabella 12.** Riassunto dei valori di corrente applicabili dallo Storditore B al corpo umano.

Parametro	Basso duty cycle		Alto duty cycle
	Minima	Massima	
$I_{eff}$ applicabile su un corpo umano	16.8 mA	19.4 mA	>51 mA



**Figura 25.** Aree delle correnti erogabili dallo Storditore B sovrapposte alle curve e alle zone di sensibilità del corpo umano secondo le norme IEC. L'area in rosso più scuro denota il funzionamento ad alto duty cycle (più frequente), quella più chiara il funzionamento a basso duty cycle.

In Figura 25 le misure e le stime effettuate sullo storditore sono state confrontate alle curve di Figura 3 derivanti dagli standard IEC [18] e [27]. Le quattro zone delimitate in Figura 25 sono definite nella Tabella 3.

A titolo di riferimento, negli impianti domestici civili è obbligatoria l'installazione di un interruttore differenziale con una soglia di interruzione della corrente tarata a 30 mA ( $I_{\text{eff AC}}$ ), che può diventare 10 mA in locali particolari, mentre lo storditore sembra calibrato per erogare meno di 20 mA. Tuttavia, è importante considerare che:

- Come spiegato nel Capitolo 3 e indicato anche da Figura 25, la soglia di 30 mA non deve essere considerata come una soglia al di sotto della quale possano essere esclusi effetti fisiologicamente pericolosi.
- Le soglie di interruzione della corrente degli interruttori differenziali sono progettate per gli impianti elettrici a 50 Hz, mentre gli storditori iniettano correnti a varie frequenze, caratterizzate da diversi valori di soglia e di resistenza di contatto. In particolare, le caratteristiche delle forme d'onda registrate sullo storditore richiedono di considerare anche i rischi specifici legati alla componente DC, che però ha soglie più alte nella zona considerata.
- Non è detto che la limitazione in corrente sia efficace su tutte le possibili resistenze che si possono trovare in pratica.
- Rimane il problema che la corrente erogata quando lo Storditore B oscilla a basso duty cycle sembra essere superiore rispetto al caso più frequente ad alto duty cycle, anche se probabilmente sarà intervallata da oscillazioni del secondo tipo.
- L'alto e il basso duty cycle si distinguono per il periodo dell'impulso, ma la durata degli impulsi è comunque molto breve, anche inferiore a quella dei taser ufficiali. Questo dovrebbe essere rassicurante per quanto spiegato nel Capitolo 3.3 sulla sensibilità del cuore.

In definitiva, la pericolosità dello Storditore B dipende dal tempo di applicazione della scarica:

- Per scariche di brevissima durata (<100 ms), si resta probabilmente nella Zona II, nella quale lo storditore produce una sensazione di dolore.
- Se la scarica dura un tempo intorno a 1 s, si entra nella Zona III, dove esiste la concreta possibilità di indurre un arresto cardiaco. Questo potrebbe avvenire già per scariche di 500 ms.
- Se lo storditore lavora a basso duty cycle, si può entrare nella Zona III anche dopo una frazione di secondo ( $\approx 200$  ms).

È importante aggiungere che la variabilità della resistenza del corpo e delle altre condizioni potrebbero diminuire ma anche aumentare questi rischi nella pratica. Inoltre, alcune condizioni fisiopatologiche individuali (ad esempio, aritmie cardiache) potrebbero aumentare in modo anche significativo il rischio di effetti avversi alla salute.



## 7 Caratterizzazione dello Storditore C

---

### 7.1 Aspetti generali dello storditore

---

Lo Storditore C oggetto delle prove ha una forma approssimativamente cilindrica con una lunghezza di circa 20 cm con una torcia per illuminazione. Visti i problemi legali, si è deciso di non mostrare immagini dello storditore.

Gli elettrodi conduttivi sono collocati su una corona circolare ad una estremità del cilindro che è leggermente allargata rispetto al resto del cilindro.

Lo storditore è alimentato da batterie ricaricabili interne. In questo caso non è stato possibile rimuovere le batterie dello storditore senza rischiare di danneggiarlo.

### 7.2 Carichi di prova

---

Lo storditore deve essere provato su un carico per poter misurare la corrente erogata su di esso. Vista la particolare geometria dello storditore, non è stato interposto tra gli elettrodi un setto isolante per evitare la formazione dell'arco elettrico in aria. L'impedenza più bassa offerta dei carichi rispetto all'aria è stata ritenuta sufficiente ad evitare arco, come è stato confermato dalla pratica.

I due carichi di prova mostrati in Figura 19 e descritti nel Capitolo 6.2 (per brevità, indicati rispettivamente, come 502  $\Omega$  e 1102  $\Omega$  nel seguito) sono stati utilizzati per le prove sullo Storditore C presentate in questo capitolo.

### 7.3 Fasi e modalità di oscillazione dello Storditore C

---

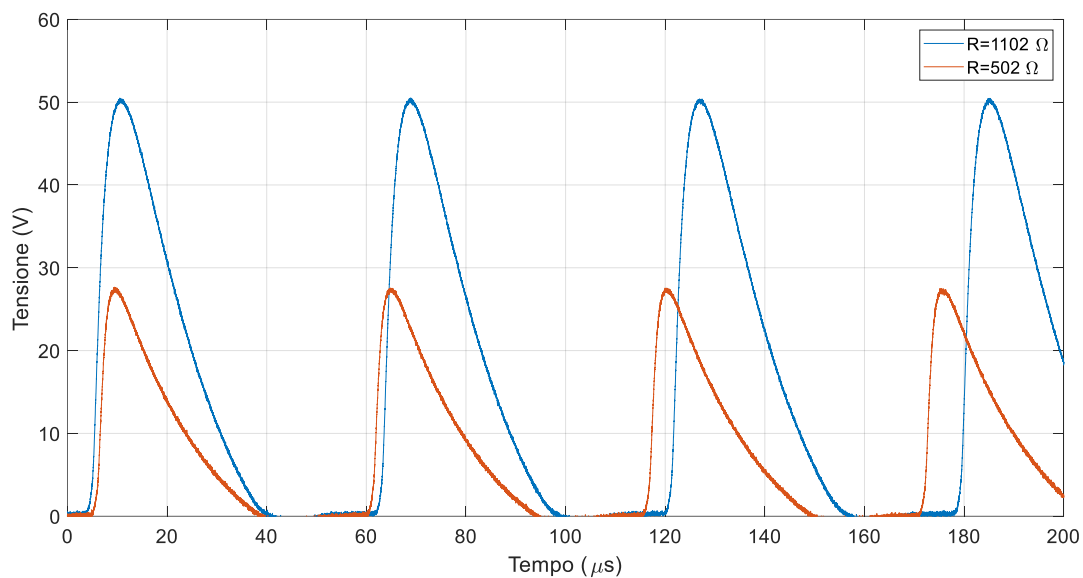
Quando il pulsante di attivazione viene premuto, lo storditore genera dapprima una tensione pari alla massima che può produrre. Quando tale tensione è in grado di stabilire buoni contatti tra gli elettrodi e il carico, tipicamente dopo un tempo molto breve, la corrente inizia a scorrere e lo storditore opera nel suo funzionamento normale, erogando una corrente approssimativamente costante.

Durante le misure sullo Storditore C non sono state registrate forme d'onda con basso duty cycle. Tuttavia, questa situazione non è escludibile in assoluto per analogia con quanto osservato sugli altri dispositivi.

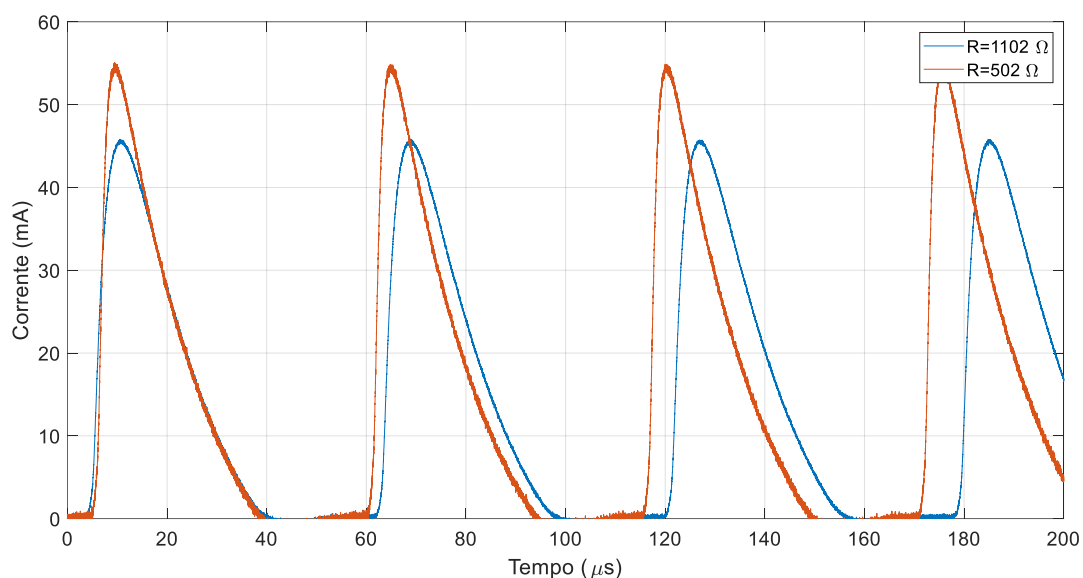
### 7.4 Misure sullo Storditore C

---

Quando il pulsante di attivazione rimane premuto, lo storditore genera treni di impulsi. Figura 26 mostra la forma d'onda tipica prodotta dallo storditore sotto carico.



**Figura 26.** Forme d'onda di tensione prodotte dallo Storditore C per due carichi resistivi diversi.



**Figura 27.** Forme d'onda di corrente prodotte dallo storditore per due carichi resistivi diversi.

**Tabella 13.** Parametri principali dello Storditore C in base al carico applicato.

Parametro	Unità di misura	Carico $R=502 \Omega$	Carico $R=1102 \Omega$
Durata singolo impulso $\Delta t$	$\mu s$	$\approx 35$	$\approx 35$
Periodo $T$	$\mu s$	$\approx 55$	$\approx 58$
Duty cycle $\delta$	%	$\approx 63.6$	$\approx 60.3$
$V_{eff}$	V	11.3	22.8
$V_{DC}$	V	7	14.6
$I_{eff}$	mA	22.5	20.7
$I_{DC}$	mA	14	13.3
Potenza $P$ da $I_{eff}$	mW	255.7	470

La corrente della stessa forma d'onda è mostrata in Figura 27.

Come si vede in Figura 32 e Figura 33, il funzionamento è abbastanza tipico di quello che è stato definito alto duty cycle con corrente abbastanza costante.

Gli impulsi si modificano al variare del carico applicato, ma sembra che quelli di corrente siano più simili tra loro: probabilmente, il controllo del dispositivo cerca di ottenere una corrente costante al variare del carico, come è giusto che sia. La differenza con lo Storditore A, sempre di forma cilindrica, più che al diverso principio di funzionamento, sembra legata alla possibilità di oscillare ad un diverso duty cycle (probabilmente a causa di componenti elettrici e parametri geometrici e parassiti diversi).

Gli impulsi presentano una periodicità davvero regolare: circa  $55 \mu\text{s}$  a  $R=502 \Omega$ , circa  $58 \mu\text{s}$  a  $R=1102 \Omega$ . Il periodo leggermente più lungo nel caso con  $R=1102 \Omega$  potrebbe essere dovuto a un diverso tempo di scarica esponenziale. Comunque, in questo caso, il periodo della forma d'onda è un dato statistico che non ha particolari influenze sul metodo di stima dei valori efficaci e medi.

Tabella 13 riassume i parametri principali dello Storditore C stimati con le misure sperimentali, in particolare la corrente efficace che lo storditore può applicare al corpo umano. Per completezza, Tabella 13 indica anche la potenza erogata corrispondente alla corrente efficace.

Anche in questo caso, poiché la forma d'onda non è sinusoidale, il valore efficace della corrente va calcolato applicando la formula completa (5) e non quella semplificata (9).

Per questo storditore si potrebbe anche considerare separatamente la parte di impulso da quella di pausa, ma non ha grande utilità pratica. Conviene calcolare i valori efficaci e medi su più impulsi. Nel calcolo, occorre prestare attenzione al fatto di integrare su un numero intero di periodi o, in alternativa, su un tempo sufficientemente lungo (molti periodi) per limitare le incertezze dovute al calcolo su periodi non interi.

Per questo storditore, la componente DC non è trascurabile rispetto alla corrente totale.

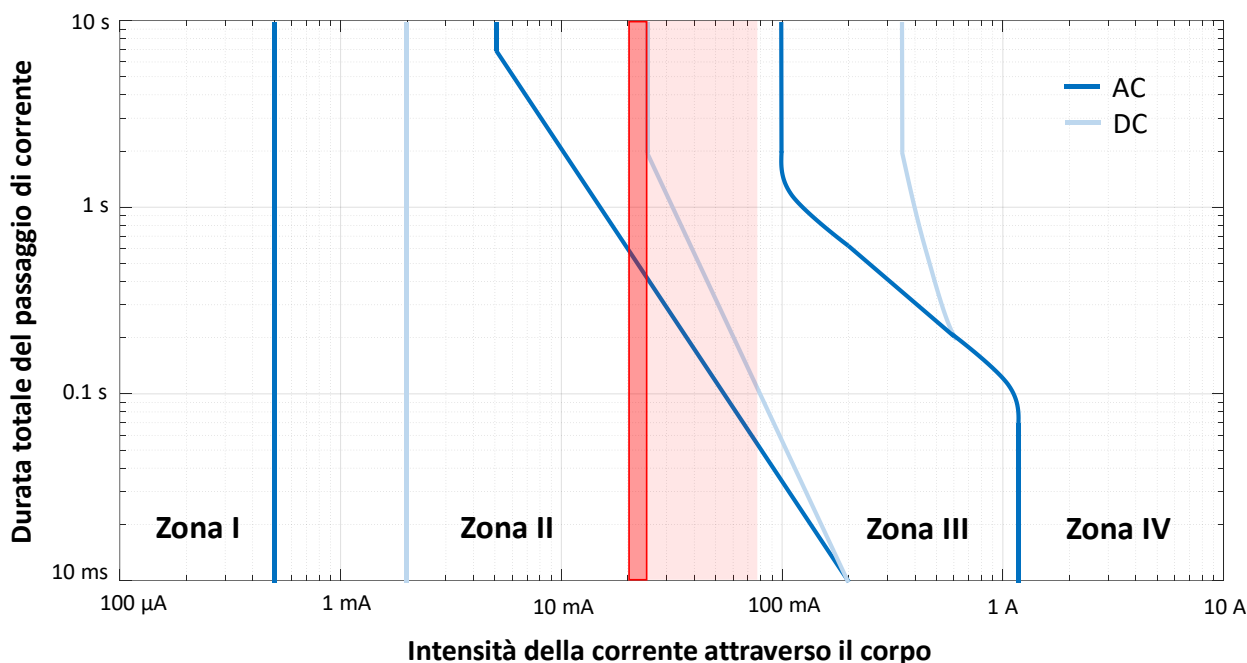
## 7.5 Considerazioni sulla pericolosità dello Storditore C

---

Considerando che la resistenza del corpo umano è convenzionalmente inclusa tra i due valori di carico  $R$  considerati nelle misure ( $502 \Omega$  e  $1102 \Omega$ ), i valori in Tabella 13 corrispondono a quelli massimi e minimi di corrente efficace che lo Storditore C può applicare al corpo umano.

**Tabella 14.** Riassunto dei valori di corrente applicabili dallo Storditore C al corpo umano.

Parametro	Minima	Massima
$I_{eff}$ applicabile dallo storditore su un corpo umano	20.7 mA	22.5 mA



**Figura 28.** Aree delle correnti erogabili dallo Storditore C sovrapposte alle curve e alle zone di sensibilità del corpo umano secondo le norme IEC. L'area in rosso più scuro denota il funzionamento ad alto duty cycle effettivamente registrato, mentre l'area più chiara abbozza un possibile funzionamento a basso duty cycle che è solo ipotizzato per analogia.

La Tabella 14 riassume solo i valori massimi e minimi di corrente efficace che lo Storditore C può applicare al corpo umano, come riportati in Tabella 14, escludendo il caso di basso duty cycle.

Sembrerebbe che lo Storditore C sia stato concepito per applicare una corrente intorno a 20 mA efficaci al corpo umano. Però non è detto che questo controllo sia mantenuto a resistenze inferiori. Rimane inoltre il problema della corrente che lo storditore potrebbe erogare qualora dovesse lavorare a basso duty cycle. Questa eventualità non è stata registrata nelle misure sullo Storditore C, ma non è escludibile per analogia con quanto osservato su altri dispositivi.

In Figura 28 le misure e le stime effettuate sullo storditore sono state confrontate alle curve di Figura 3 derivanti dagli standard IEC [18] e [27]. Le zone schematizzate in Figura 28 sono definite nella Tabella 3.

A titolo di riferimento, negli impianti domestici civili è obbligatoria l'installazione di un interruttore differenziale con una soglia di interruzione della corrente tarata a 30 mA ( $I_{eff}$  AC), che può diventare 10 mA in locali particolari, mentre lo storditore sembra calibrato per erogare circa 20 mA. Tuttavia, è importante considerare che:

- Come spiegato nel Capitolo 3 e indicato anche da Figura 28, la soglia di 30 mA non deve essere vista come una soglia al di sotto della quale non ci sono problemi e rischi.
- I valori di soglia degli interruttori differenziali sono definiti per la protezione dalle correnti a 50 Hz, mentre gli storditori iniettano correnti a varie frequenze, caratterizzate da diversi valori di soglia e delle resistenze di contatto. In particolare, le caratteristiche delle forme d'onda registrate sullo storditore richiedono di considerare anche i problemi specifici legati alla componente DC, che però ha soglie più alte nella zona considerata.
- Non è detto che la limitazione in corrente sia efficace su tutte le possibili resistenze che si possono trovare in pratica.
- La corrente che lo Storditore C potrebbe erogare qualora oscillasse a basso duty cycle potrebbe essere superiore rispetto ai casi registrati ad alto duty cycle, anche se probabilmente le due modalità saranno intervallate tra loro.
- La durata degli impulsi è comunque molto breve, anche inferiore a quella dei taser ufficiali. Questo dovrebbe essere rassicurante per quanto spiegato nel Capitolo 3.3 sulla sensibilità del cuore.

In definitiva, la pericolosità dello Storditore C dipende dal tempo di applicazione della scarica:

- Per scariche di brevissima durata (<100 ms), si resta probabilmente nella Zona II, nella quale lo storditore produce una sensazione di dolore.
- Se la scarica dura un tempo superiore a 500 ms, si entra nella Zona III, dove esiste la concreta possibilità di indurre un arresto cardiaco.
- Probabilmente, se lo storditore lavorasse a basso duty cycle, potrebbe entrare nella Zona III anche dopo tempi più brevi.

È importante aggiungere che la variabilità della resistenza del corpo umano e delle altre condizioni operative potrebbero diminuire, ma anche aumentare, questi rischi nella pratica. Inoltre, alcune condizioni fisiopatologiche individuali (ad esempio, aritmie cardiache) potrebbero aumentare in modo anche significativo il rischio di effetti avversi alla salute.



## 8 Considerazioni conclusive

---

Il presente rapporto ha descritto le normative di riferimento, le procedure di prova e i risultati delle misure effettuate su tre storditori elettrici di tipo diverso sequestrati dalla Polizia di Stato. Oltre alle misure sui dispositivi specifici, il rapporto ha affrontato il problema di definire i parametri rilevanti e le condizioni di prova per la stima dei rischi delle armi ad impulsi elettrici.

In generale, le armi a impulsi elettrici operano ad una tensione abbastanza elevata (nell'ordine di centinaia o migliaia di volt), ma la corrente è limitata a valori che, seppure sufficienti ad immobilizzare temporaneamente la vittima, non dovrebbero rivelarsi letali. Tuttavia, è importante sottolineare che le correnti effettivamente erogate dai dispositivi dipendono da una serie di fattori, spesso non prevedibili.

Per la legislazione italiana, si tratta di armi proprie, in quanto la loro destinazione naturale è l'offesa alla persona. Non possono essere introdotti in Italia, in quanto l'ordinamento vigente non prevede licenze per il porto di essi.

Gli storditori analizzati in questo rapporto sono spesso commercializzati al di fuori delle normative, senza controlli e con istruzioni molto limitate se non fuorvianti. Sebbene il rapporto illustri anche il funzionamento dei taser ufficiali e le differenze con i prodotti illegali, non è tra i suoi scopi entrare nell'annoso dibattito sul loro impiego da parte delle forze dell'ordine.

Lo studio degli effetti della corrente prodotta dagli storditori non è banale, anche perché i riferimenti normativi e la documentazione tecnica sono maggiormente incentrati sul passaggio accidentale di corrente nel corpo e sulle correnti industriali. Inoltre, gli strumenti di misura elettrici tradizionale possono fornire stime inesatte dai parametri in oggetto. Questo suggerisce di dedicare attività di ricerca future alla valutazione degli effetti specifici delle forme d'onda prodotte dalle armi ad impulsi elettrici.

L'impedenza del corpo umano è variabile con l'individuo e le condizioni (vestiti, pelle, umidità) con diversi valori proposti dalla letteratura. L'analisi ragionata di tale letteratura ha portato a realizzare le misure su due carichi di prova con valori vicini a 500  $\Omega$  e a 1 k $\Omega$ , evitando la formazione di archi elettrici.

La sensibilità del corpo umano alla corrente applicata può essere classificata secondo quattro zone delimitate dalle curve di soglia definite dalle normative. Gli stimoli che si collocano nella Zona III possono produrre avere effetti fisiologicamente pericolosi, inclusi la fibrillazione atriale e l'arresto cardiaco provvisorio.

Le correnti prodotte dagli storditori dovrebbero seguire percorsi locali e lontani dal cuore, ma, poiché il punto preciso e la situazione di applicazione non sono predicibili, la prudenza suggerisce di considerare sempre le soglie più generali. Inoltre, è importante sottolineare che ogni considerazione deve tenere conto delle tolleranze dei dispositivi, dell'incertezza dei metodi di misura e della variabilità della costituzione delle persone.

Le misure e le stime effettuate sui tre storditori provati sono state confrontate con le curve di sensibilità derivate dagli standard internazionali. Come primo riferimento semplificato, è stato notato che gli storditori riescono ad erogare una corrente superiore, anche doppia del valore considerato prudenzialmente sicuro negli impianti domestici civili.

Un aspetto critico degli storditori è la durata dell'applicazione della scarica, che non è affatto controllata. Può essere sufficiente applicare la scarica per una frazione di secondo ( $\approx 200$  ms) per entrare nella Zona III, dove esiste la concreta possibilità di indurre un arresto cardiaco anche con correnti modeste.

È importante aggiungere che la variabilità della resistenza del corpo e delle altre condizioni di funzionamento potrebbero modificare i parametri elettrici e i loro effetti pratici. Inoltre, alcune situazioni fisiopatologiche individuali potrebbero aumentare in modo anche significativo il rischio di effetti avversi alla salute.

Infine, vale la pena citare che probabilmente i rischi principali derivanti dall'uso dei dispositivi a impulsi elettrici sono "indiretti", per esempio dovuti a cadute conseguenti allo stordimento o alla perdita di controllo muscolare, anche perché l'azione è condotta da soggetti non consapevoli delle conseguenze degli impulsi e non istruiti su come affrontarle.

## 9 Bibliografia

---

- [1] S. Upson, "How a Taser Works," in IEEE Spectrum, vol. 44, no. 12, pp. 24-31, Dec. 2007, doi: 10.1109/MSPEC.2007.4390028.
- [2] M. W. Kroll, J. D. Ho, "TASER Conducted Electrical Weapons: Physiology, Pathology, and Law", Springer US, 2009.
- [3] Rapporto del Consiglio Federale Svizzero, "Valutazione dei dispositivi inabilitanti", 2011.
- [4] Amnesty International, "USA: Amnesty International's continuing concerns about taser use", 27 March 2006: <http://www.amnesty.org/en/documents/AMR51/030/2006/en/>
- [5] Amnesty International Italia, "Introduzione in via definitiva delle pistole Taser: le nostre preoccupazioni", 15 aprile 2019: <http://www.amnesty.it/introduzione-via-definitiva-pistole-taser>
- [6] B. D. Chiles, M. H. Nerheim, M. A. Brave, D. Panescu and M. W. Kroll, "Electrical Weapon Charge Delivery With Arcing", 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Honolulu, HI, 2018, pp. 2234-2239.
- [7] V. Appleton, "Tom Swift and His Electric Rifle", 1911.
- [8] Sito web azienda produttrice di taser ufficiali: <http://www.axon.com> (in italiano: <http://it.axon.com>).
- [9] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 8 luglio 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz".
- [10] Decreto Interministeriale del 22 gennaio 2008, n. 37, "Installazione di impianti all'interno degli edifici".
- [11] Ministero dell'Interno, Circolare 559/C-50.652-E-97 del 10 dicembre 1997 concernente la vendita di strumenti destinati all'autodifesa.

- [12] Decreto Legislativo del 26 ottobre 2010, n. 204, “Attuazione della direttiva 2008/51/CE, che modifica la direttiva 91/477/CEE relativa al controllo dell'acquisizione e della detenzione di armi”.
- [13] Legge del 18 aprile 1975, n. 110, “Norme integrative della disciplina vigente per il controllo delle armi, delle munizioni e degli esplosivi”.
- [14] Testo unico delle leggi di pubblica sicurezza (TULPS), Regio Decreto del 18 giugno 1931, n. 773, e s.m.i.
- [15] Decreto Legge del 22 agosto 2014, n. 119, “Disposizioni urgenti in materia di contrasto a fenomeni di illegalità e violenza in occasione di manifestazioni sportive, di riconoscimento della protezione internazionale, nonché per assicurare la funzionalità del Ministero dell'Interno”, convertito con modificazioni dalla Legge 17 ottobre 2014, n. 146.
- [16] Decreto del Ministero dell'Interno del 4 luglio 2018, “Avvio della sperimentazione delle pistole a impulsi elettrici da parte delle forze dell'ordine”.
- [17] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 kHz), Health Physics 99(6):818-836 (2010). Versione italiana: Commissione Internazionale sulla Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP), “Linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (1 Hz – 100 kHz)”.
- [18] Norma Tecnica International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 60479-1:2018, “Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects”. Versione italiana: Norma Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), CEI 64-18, “Effetti della corrente elettrica attraverso il corpo umano e degli animali domestici Parte 1: Aspetti generali” e CEI 64-18-V1, “Effetti della corrente elettrica attraverso il corpo umano e gli animali domestici Parte 1: Aspetti generali”.
- [19] Norma Tecnica International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 60479-2:2019, “Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects”.

- [20] Norma Tecnica International Electrotechnical Commission (IEC), IEC TR 60479-5:2007, "Effects of current on human beings and livestock – Part 5: Touch voltage threshold values for physiological effects".
- [21] Norma Tecnica International Electrotechnical Commission (IEC), IEC TS 61201:2007, "Use of conventional touch voltage limits - Application guide".
- [22] Norma Tecnica Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE C95.1-2019, "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz".
- [23] Norma Tecnica MIL-STD-461G, Department of Defense Interface Standard, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment", AMSC 9618 – AREA EMCS, 11 December 2015.
- [24] Norma Tecnica International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 60990:2016, "Methods of measurement of touch current and protective conductor current".
- [25] Carleton University, "Test Procedure for Conducted Energy Weapons", Version 2.0, 2017/02/17: <http://curve.carleton.ca>
- [26] V. De Santis, P. A. Beeckman, D. A. Lampasi, M. Feliziani, "Assessment of Human Body Impedance for Safety Requirements against Contact Currents for Frequencies up to 110 MHz", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 58, no. 2, pp. 390-396, February 2011.
- [27] V. De Santis, V. Martynyuk, A. Lampasi, M. Fedula, M. D. Ortigueira, "Fractional-order circuit models of the human body impedance for compliance tests against contact currents", Elsevier AEU - International Journal of Electronics and Communications, Volume 78, August 2017, Pages 238-244.
- [28] Norma Tecnica International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 60335-2-76:2018, "Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-76: Particular requirements for electric fence energizers". Versione italiana: Norma Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), CEI EN 60335-2-76, "Sicurezza degli apparecchi elettrici d'uso domestico e similare Parte 2: Norme particolari per gli elettrificatori per recinti".

- [29] V. A. Prabhala, B. P. Baddipadiga, P. Fajri, M. Ferdowsi, "An Overview of Direct Current Distribution System Architectures & Benefits", *Energies* 2018, 11, 2463.
- [30] E. Mattei, F. Censi, G. Calcagnini, "Electrical Stun Gun and Modern Implantable Cardiac Stimulators", *Health Phys.* 2019 January; 116(1):18-26.
- [31] E. Mattei, F. Censi, G. Calcagnini, "Electrical Stun Gun and Modern Implantable Cardiac Stimulators: Update for a New Stun Gun Model", *Health Phys.* 2020 October 20.

ENEA  
Servizio Promozione e Comunicazione  
[www.enea.it](http://www.enea.it)

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati  
settembre 2021