NOTA TECNICA

MIL-STD-1275, 810 e 461 per caricabatterie: una checklist di progetto per caricabatterie rinforzati da veicolo a 24 V

La specifica di un caricabatterie rinforzato può tirarsi dietro circa 1.400 pagine di norme militari, ma meno di 150 cambiano il progetto. Questa checklist associa ogni requisito alla decisione di progetto che impone e alla prova che lo dimostra, con i calcoli dietro quelli difficili.

Tan Shuai · tanshuai.com · i@tanshuai.com

23 novembre 2026

Sintesi

Un caricabatterie rinforzato a 24 V per veicoli e impiego sul campo è, in fondo, un normale caricabatterie switching avvolto da quattro problemi difficili. La MIL-STD-1275 applica al suo ingresso una sovratensione a 100 V da una sorgente di 0,5 Ω, che nessun diodo di clamp può assorbire, quindi lo stadio d'ingresso richiede un limitatore di sovratensione in serie realizzato con componenti di classe 150 V. La MIL-STD-461 rende difficili le emissioni, non l'immunità: ogni ingresso di potenza richiede un filtro a due stadi sulla parete dei connettori, e l'involucro deve essere sigillato elettricamente oltre che meccanicamente. La MIL-STD-810 chiede una scatola stagna che smaltisca il calore a +55 °C al sole, sopravviva a 26 cadute e respiri in quota senza far entrare l'acqua. Un MTTF di 40.000 ore non lascia spazio a una ventola. Tutto il resto, da umidità e nebbia salina a ESD, temperatura al tatto e rapporto di affidabilità, segue la buona pratica e si verifica con prove o documenti. La maggior parte delle specifiche cita ancora revisioni degli anni Ottanta e Novanta; progettare secondo quelle attuali e consegnare una tabella di corrispondenza non costa nulla ed evita rilavorazioni. Una qualifica credibile richiede tre campioni e 8–16 settimane e, alle tariffe pubblicate dei laboratori della Cina continentale, costa circa 20.000–55.000 dollari.

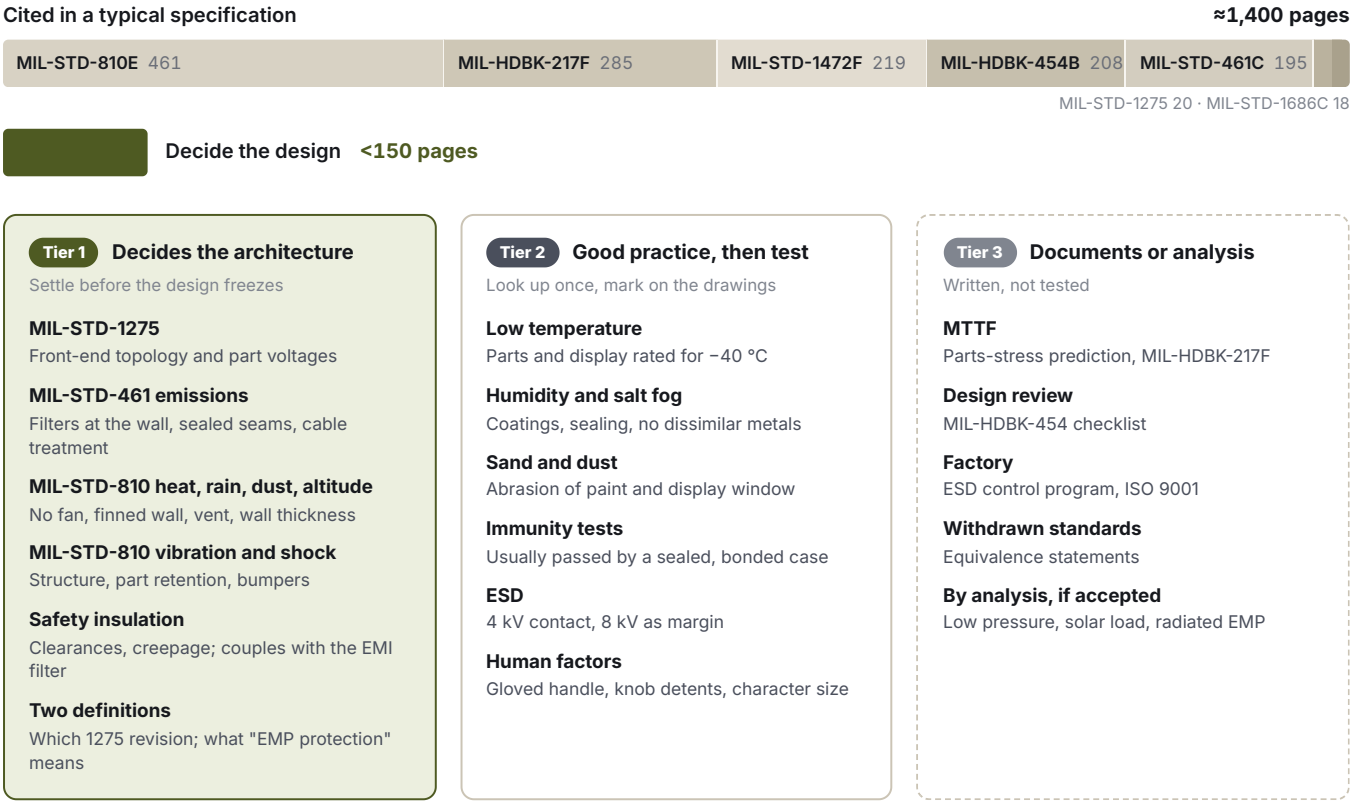
Perché l'ho scritto

Le richieste di caricabatterie rinforzati arrivano come una pagina di requisiti e un elenco di norme: MIL-STD-810 per l'ambiente, MIL-STD-461 per la compatibilità elettromagnetica, MIL-STD-1275 per l'alimentazione da veicolo, una norma di sicurezza, un valore di MTTF e qualche regola di ergonomia. I documenti dietro quell'elenco arrivano a circa 1.400 pagine. Letti alla lettera, trasformano un caricabatterie in un progetto di ricerca. Letti di corsa, nascondono le tre o quattro clausole che decidono schema a blocchi, involucro e prezzo.

Di recente ho esaminato una specifica del genere riga per riga, ho letto le norme stesse anziché i loro riassunti e ho ordinato ogni clausola in base a ciò che fa al progetto. Questa nota è il risultato, scritta come checklist per gli ingegneri che devono trasformare una specifica del genere in hardware, e per gli acquirenti che vogliono sapere cosa stanno chiedendo. Tutti i numeri sono aggiornati a novembre 2026, e gli importi sono in dollari statunitensi.

Risultati in sintesi

Figura 1. Su circa 1.400 pagine di norme, meno di 150 decidono il progetto. Il resto è buona pratica e carta.



Fonte: The author's reading of the standards cited; page counts are those of the published documents.

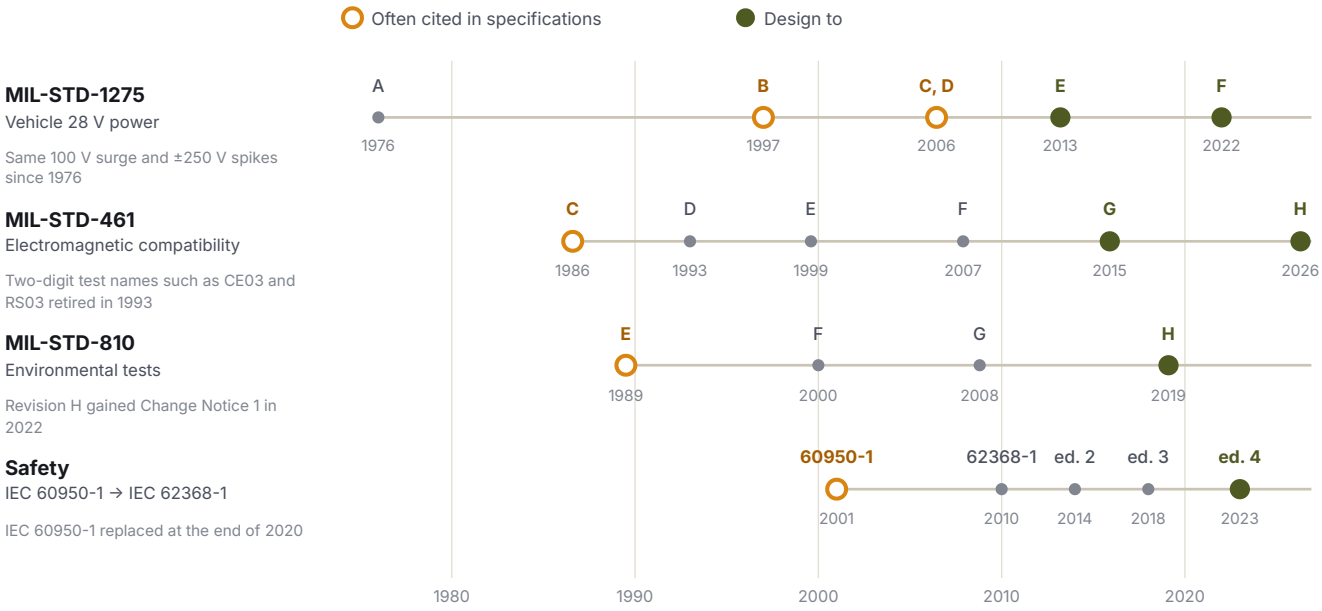
La checklist vera e propria, dal requisito alla decisione di progetto che impone e al modo di dimostrarla:

Requisito	Cosa fa al progetto	Come si verifica
MIL-STD-1275, alimentazione da veicolo a 24 V	Limitatore di sovratensione in serie a MOSFET con componenti di classe 150 V, TVS per i picchi, blocco dell'inversione di polarità senza caduta di diodo; carica da 16 a 33 V, pausa e ripresa automatica durante gli avviamenti	Prova con un generatore di transitori costruito per la revisione citata
MIL-STD-461, EMI	Un filtro LC a due stadi su ogni ingresso di potenza, montato sulla parete dei connettori; guarnizioni conduttive su ogni giunzione; pianificazione delle frequenze dei convertitori; pre-scansioni sul primo prototipo	Prova in camera, dopo pre-scansioni interne
MIL-STD-810, ambiente	Vano elettronica stagno senza ventola, calore in uscita dalle alette; sfiato in ePTFE per la quota; paraspigoli e connettori incassati per le cadute; componenti per stoccaggio da −40 a +71 °C	Un campione nella sequenza climatica, uno in quella meccanica
Temperatura di carica del Li-ion	Misurare ogni batteria e caricare solo nella sua finestra, tipicamente 0–45 °C; pausa, indicazione del motivo, ripresa automatica; preriscaldamento opzionale	Prova agli estremi di temperatura
Sicurezza, IEC 62368-1	Distanze in aria progettate sulla lettura più ampia delle tabelle; involucro metallico antincendio sopra 100 W; maniglie e manopole in polimero per la temperatura al tatto	Rapporto di prova CB e ispezione
ESD	Scarica a contatto di 4 kV su tutto ciò che una mano può raggiungere, 8 kV come margine	Prova, circa mezza giornata
MTTF di 40.000 ore	Un budget di 25 guasti per milione di ore per l'intero caricabatterie: niente ventola, componenti declassati	Previsione MIL-HDBK-217F, con il metodo concordato in anticipo
Ergonomia, MIL-STD-1472	Una maniglia dimensionata per i guanti, scatti della manopola a 15–40° l'uno dall'altro, caratteri leggibili a distanza di braccio	Ispezione e dimostrazione con i guanti

Passo zero: progettare secondo le revisioni attuali

Le specifiche per apparati rinforzati sono spesso più vecchie di quanto sembrino. È comune trovare MIL-STD-810E (1989) e MIL-STD-461C (1986) accanto a norme di sicurezza nel frattempo ritirate, perché gli uffici acquisti ricopiano i loro modelli. I nomi di prova della 461C a due lettere e due cifre, come CE03 e RS03, sono stati abbandonati nel 1993. La MIL-STD-810 è oggi alla revisione H (gennaio 2019, con il Change Notice 1 del 2022); la MIL-STD-461 alla G (dicembre 2015), seguita dalla H nell'aprile 2026; la MIL-STD-1275 alla E (marzo 2013) e alla F (2022). La IEC 62368-1 ha sostituito la IEC 60950-1 alla fine del 2020 ed è alla quarta edizione (2023). La EN 50091-1, che compare ancora nelle specifiche dei caricabatterie, è una norma per gruppi di continuità ritirata nel 2005.

Figura 2. Le specifiche citano ancora revisioni degli anni Ottanta e Novanta. Progettate secondo quelle attuali e riportate i risultati rispetto a entrambe.



Fonte: Revision dates from the standards themselves and from a US test lab's revision list; IEC publication dates.

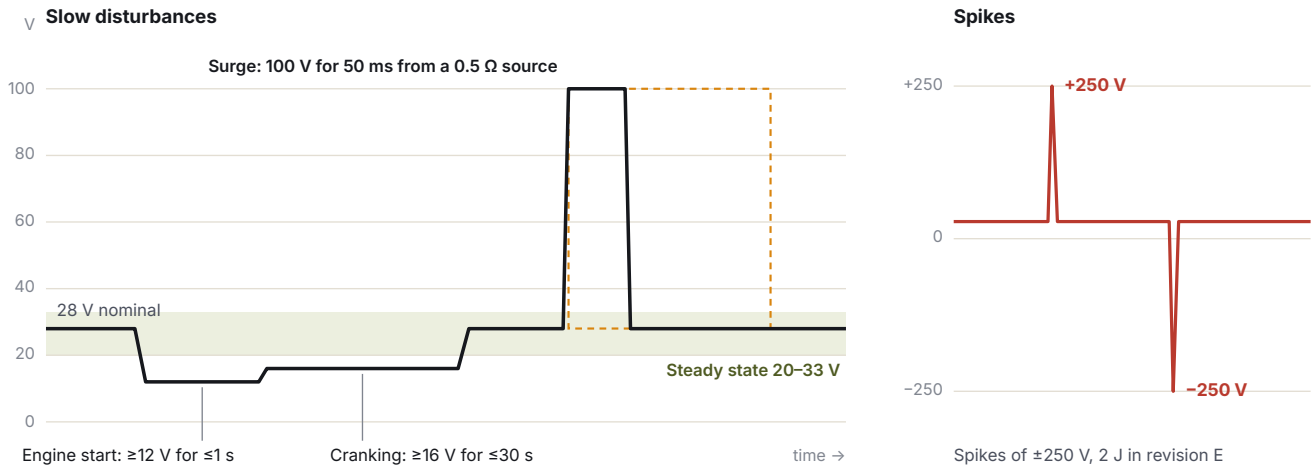
Le severità predefinite della MIL-STD-810 sono cambiate appena tra il 1989 e il 2019, e le due sollecitazioni che plasmano uno stadio d'ingresso MIL-STD-1275 sono le stesse dal 1976, quindi progettare secondo le revisioni attuali non costa nulla. In cambio si ottiene un progetto che passerà ancora se il cliente aggiorna la specifica, e laboratori che eseguono ancora i metodi. La mia regola è progettare secondo 810H, 461G o H, 1275E o F e IEC 62368-1:2023, riportare i risultati rispetto ai numeri di metodo citati dal cliente e consegnare una tabella di una pagina che collega vecchio e nuovo. Dove un vecchio metodo sopravvive solo in pochi laboratori, come le emissioni condotte CE03 della 461C, concordate l'equivalente attuale prima di prenotare una camera.

Due domande vanno nella prima e-mail, perché le risposte cambiano il costo: quale revisione della MIL-STD-1275 si applica, con quale criterio di superamento, e cosa significa "protezione EMP". L'iniezione su cavo di sinusoidi smorzate (CS116, o CS10 e CS11 nella 461C) richiede circa un giorno di camera. Una prova d'impulso irradiato (RS105, o RS05 nella 461C) è un altro budget, e la 461H la applica solo ad apparati con un requisito EMP esplicito.

MIL-STD-1275: l'ingresso a 24 V decide lo schema a blocchi

Ogni revisione della MIL-STD-1275, dalla A del 1976 alla E del 2013, contiene le stesse due sollecitazioni che definiscono il progetto: una sovratensione a +100 V di 50 ms da una sorgente di 0,5 Ω, e picchi di ±250 V. Ciò che è cambiato tra le revisioni è contabilità: modi operativi, energia dei picchi (15 mJ in B e D, 2 J in E), il minimo dell'abbassamento all'avviamento (non sotto 6 V per 1 s nelle revisioni più vecchie, 12 V nella E, poi non sotto 16 V fino a 30 s durante la messa in moto) e la finestra a regime, da 20 a 33 V nella E. La revisione F, a giudicare dalla documentazione dei generatori di prova costruiti per essa, estende la sovratensione a circa 500 ms da una sorgente molto più rigida e riduce l'energia dei picchi a 250 mJ.

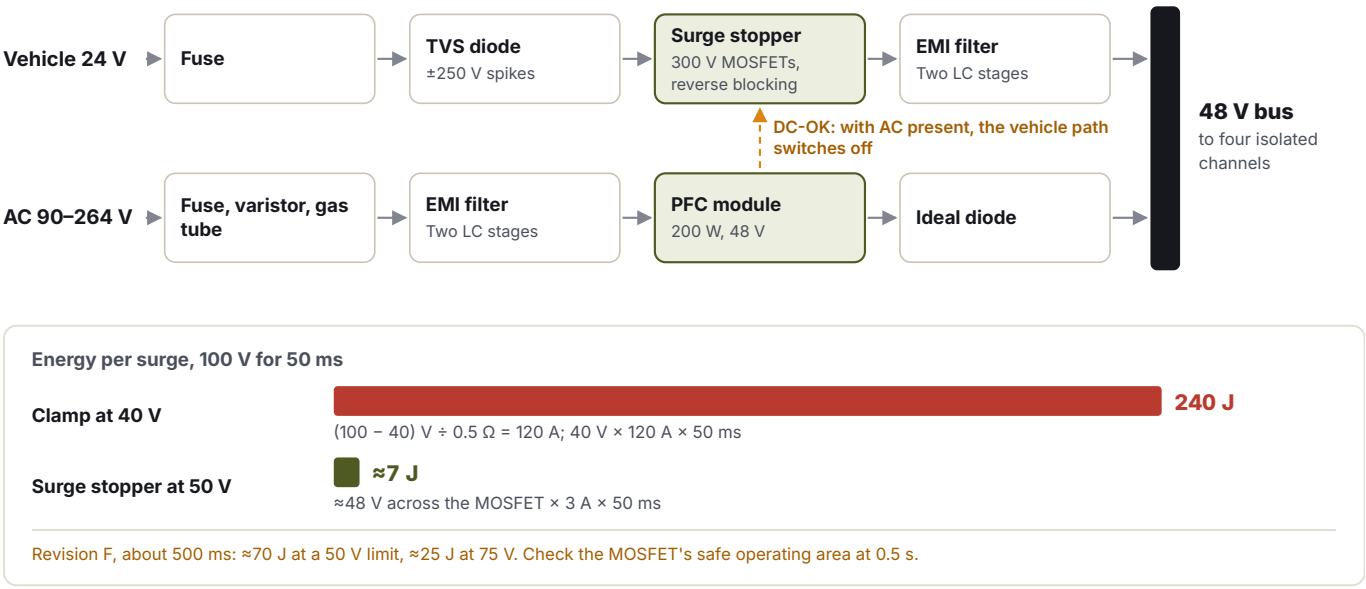
Figura 3. L'inviluppo MIL-STD-1275E su un bus di veicolo a 28 V.



Fonte: MIL-STD-1275E (2013); the revision F note is inferred from the documentation of F-rated test generators.

È la sovratensione a escludere la risposta ovvia. Limitatela a 40 V con un diodo TVS o un varistore, e la sorgente spinge (100 − 40) / 0,5 = 120 A nel clamp per 50 ms, cioè 40 V × 120 A × 0,05 s = 240 J in un solo componente. Nessun clamp di dimensioni ragionevoli lo regge ripetutamente. Un limitatore di sovratensione in serie fa il lavoro in modo diverso: un MOSFET nel percorso di alimentazione limita la sua uscita a una tensione impostata e fa cadere il resto, quindi dissipa solo la differenza tra la sovratensione e quella tensione, moltiplicata per la corrente di carico. Per un carico di 150 W tenuto a 50 V, sono circa 48 V × 3 A, cioè circa 150 W per 50 ms: circa 7 J, trenta volte meno del clamp.

Figura 4. Un clamp dovrebbe assorbire 240 J; un limitatore di sovratensione in serie ne dissipa circa 7.



Fonte: The author's design; energies calculated for a 150 W load.

Il resto dello stadio d'ingresso ne discende:

- **Componenti da 150 V o più** nel percorso della sovratensione. Uso un MOSFET da 300 V, che dà margine rispetto ai picchi.
- **La revisione F cambia i numeri.** A 500 ms, lo stesso limite di 50 V metterebbe circa 70 J nel MOSFET. Alzando il limite a circa 75 V, che i moduli DC-DC con ingresso 18–75 V accettano in continuo, la corrente scende a 2 A e la

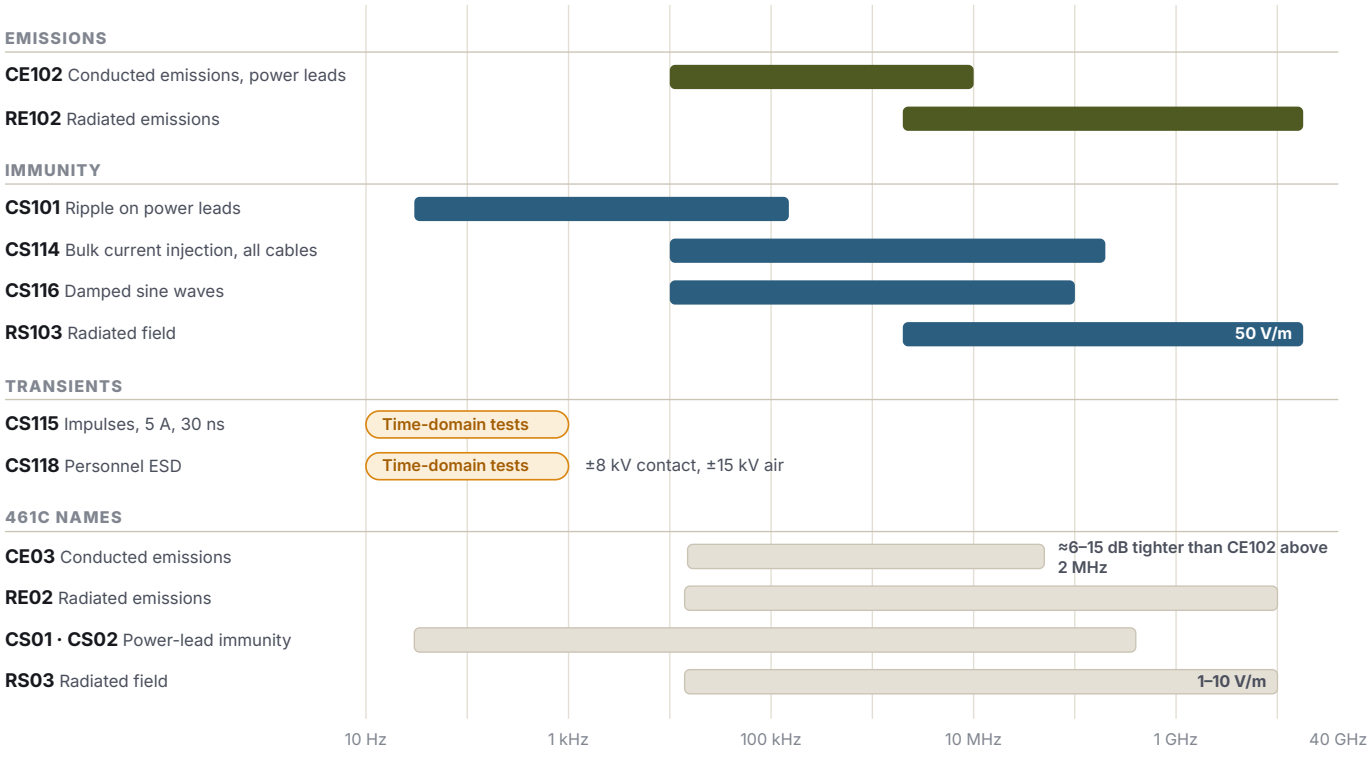
tensione sul MOSFET a circa 24 V, circa 25 J in tutto; in entrambi i casi verificate l'area di funzionamento sicuro del MOSFET a 0,5 s.

- **Un TVS ferma comunque i picchi.** A 2 J (o 250 mJ nella F), è un compito alla sua portata.
- **L'inversione di polarità è bloccata da MOSFET contrapposti** sotto un controllore a diodo ideale, non da un diodo in serie, che sprecherebbe diversi watt.
- **Gli avviamenti sono un modo operativo, non un guasto.** Continuate a caricare fino a 16 V dove possibile. Sotto, mettete in pausa, mantenete attivi display e registri e riprendete senza che nessuno tocchi l'unità. Scrivetelo nella risposta alla specifica.
- **I moduli con ingresso 18–75 V aiutano.** Tollerano tipicamente 100 V per 1 s, quindi basta un solo stadio di protezione davanti a loro.
- **Conta anche il ripple.** La 1275D ammette 7 V di picco di ripple fino a 200 kHz, che il filtro d'ingresso deve gestire senza risuonare.

MIL-STD-461: le emissioni sono il lato difficile

Per gli apparati terrestri dell'Army, la MIL-STD-461G applica otto prove: CE102, emissioni condotte sui cavi di alimentazione (da 10 kHz a 10 MHz); RE102, emissioni irradiate (da 2 MHz a 18 GHz per gli apparati terrestri); CS101, ripple ad audiofrequenza sui cavi di alimentazione (da 30 Hz a 150 kHz); CS114, iniezione di corrente su ogni cavo (da 10 kHz a 200 MHz); CS115, impulsi veloci; CS116, sinusoidi smorzate (da 10 kHz a 100 MHz); CS118, ESD da persone (±8 kV a contatto, ±15 kV in aria); e RS103, immunità irradiata, 50 V/m da 2 MHz a 18 GHz. La revisione 461H dell'aprile 2026 mantiene i limiti per gli apparati terrestri dell'Army e rende più rigorose le procedure.

Figura 5. Le prove MIL-STD-461G per gli apparati terrestri dell'Army, e le prove 461C che le specifiche più vecchie citano ancora.



Fonte: MIL-STD-461G (2015), Table V and test sections; MIL-STD-461C (1986), Part 4.

Un caricabatterie è un caso difficile per le emissioni. Contiene diversi convertitori switching: un correttore del fattore di potenza, un convertitore isolato per canale e uno stadio di carica buck-boost per canale. Quattro canali che lavorano a frequenze leggermente diverse producono battimenti, e i cavi delle batterie e del veicolo sono buone antenne. L'immunità è di solito il lato più facile, anche se i 50 V/m della RS103 meritano rispetto. Una specifica più

vecchia sposta ancora l'equilibrio: sopra 2 MHz il limite CE03 della 461C è più severo della CE102 di circa 6 dB su un ingresso a 28 V e di circa 15 dB su un ingresso a 230 V, e arriva a 50 MHz invece di 10, mentre il suo requisito di immunità irradiata è di soli 1–10 V/m.

Cosa funziona:

- **Un filtro LC a due stadi su ogni ingresso di potenza,** realizzato sulla parete dei connettori, in modo che cablaggio filtrato e non filtrato non condividano mai un vano. Secondo la mia stima, un caricabatterie richiede 40–60 dB di attenuazione alle sue frequenze di commutazione e 50–70 dB da 2 a 50 MHz per soddisfare la CE03 con margine.
- **Il vano elettronica stagno fa anche da schermo.** Guarnizioni conduttive e un collegamento continuo su ogni giunzione trasformano l'involucro in una gabbia di Faraday senza costi aggiuntivi.
- **Pianificate le frequenze dei convertitori.** Sincronizzate i convertitori di canale o distribuitene lo spettro, e rallentate i fronti di commutazione dove il rendimento lo consente.
- **Mettete induttori sui cavi delle batterie.** Un'induttanza di modo comune su ogni uscita impedisce ai cavi delle batterie di irradiare.
- **Misurate presto.** Una pre-scansione delle emissioni condotte sul primo prototipo costa un giorno con una LISN e un analizzatore di spettro; trovare un problema nella camera ufficiale costa settimane.

MIL-STD-810: una scatola stagna che smaltisce il calore, respira e sopravvive alle cadute

I dieci ambienti che una specifica di caricabatterie cita di solito corrispondono uno a uno ai metodi 500.3, 501.3, 502.3, 505.3, 506.3, 507.3, 509.3, 510.3, 514.4 e 516.4 della 810E, diventati 500.6, 501.7, 502.7, 505.7, 506.6, 507.6, 509.7, 510.7, 514.8 e 516.8 nella 810H. Le loro severità predefinite sono cambiate appena in trent'anni. Nessuno è difficile da solo; insieme descrivono una scatola stagna, e una scatola stagna ha tre problemi: calore, pressione e urti.

Metodo (810E / 810H)	Severità predefinita	Risposta progettuale
Bassa pressione (500.3 / 500.6)	4.570 m, 57 kPa	Una scatola stagna vede circa 44 kPa attraverso le pareti; su un coperchio di 340 × 240 mm sono circa 3,6 kN. Uno sfiato in ePTFE equalizza la pressione e tiene fuori l'acqua.
Alta temperatura (501.3 / 501.7)	Ciclo caldo-secco: 32–49 °C ambiente, 33–71 °C indotti dentro veicoli e involucri	Convezione naturale senza ventola attraverso una parete alettata; ogni parte calda vi conduce il calore; il firmware riduce la potenza di carica sopra i 50 °C.
Radiazione solare (505.3 / 505.7)	1.120 W/m², cicli di 24 ore	Un colore più chiaro riduce l'apporto solare; concordate se un'analisi può sostituire la prova.
Bassa temperatura (502.3 / 502.7)	Freddo di base fino a circa −32 °C; categorie più fredde su accordo	Componenti e display per −40 °C; le batterie non si caricano sotto 0 °C (vedi sotto).
Pioggia (506.3 / 506.6)	10 cm/h, vento a 18 m/s, 30 minuti per faccia	Vano elettronica IP67, guarnizione continua del coperchio, valvole di drenaggio nei vani batteria.
Umidità (507.3 / 507.6)	Cicli di 10 giorni	Vano stagno e verniciatura protettiva conforme.
Nebbia salina (509.3 / 509.7)	NaCl al 5 % a 35 °C, 48 h umido e 48 h secco	Rivestimento di conversione sotto vernice a polvere o CARC, viteria inox, nessun metallo dissimile a contatto.
Sabbia e polvere (510.3 / 510.7)	Polvere 10,6 g/m³ a 8,9 m/s; sabbia 1,1 g/m³ a 18–29 m/s	Vano stagno; rivestimento e finestra del display resistenti all'abrasione.
Vibrazioni (514.4 / 514.8)	Profilo veicolo a ruote o cingolato: chiedete quale	Fissate i componenti pesanti; un cuscinetto in schiuma nel coperchio trattiene le batterie; caricate batterie reali durante la prova per dimostrare il funzionamento in movimento.

Metodo (810E / 810H)	Severità predefinita	Risposta progettuale
Urti e cadute in trasporto (516.4 / 516.8)	26 cadute da 122 cm	Circa 10 mm di deformazione controllata nei paraspigoli; connettori incassati; niente atterra su un connettore.

La combinazione che coglie di sorpresa è calore più tenuta. A +55 °C in pieno sole, una scatola stagna non può usare l'aria esterna, quindi tutte le perdite devono uscire per conduzione e convezione naturale. A 120 W in uscita, un caricabatterie con rendimento del 79–83 % perde da 25 a 32 W, che una parete alettata in alluminio può smaltire, ma un modulo AC-DC che si declassa del 2–3 % per grado sopra i 50 °C va dimensionato di conseguenza. Se la piena potenza deve essere disponibile a +55 °C, o il modulo cresce di una taglia, o il firmware riduce la corrente di carica e lo segnala.

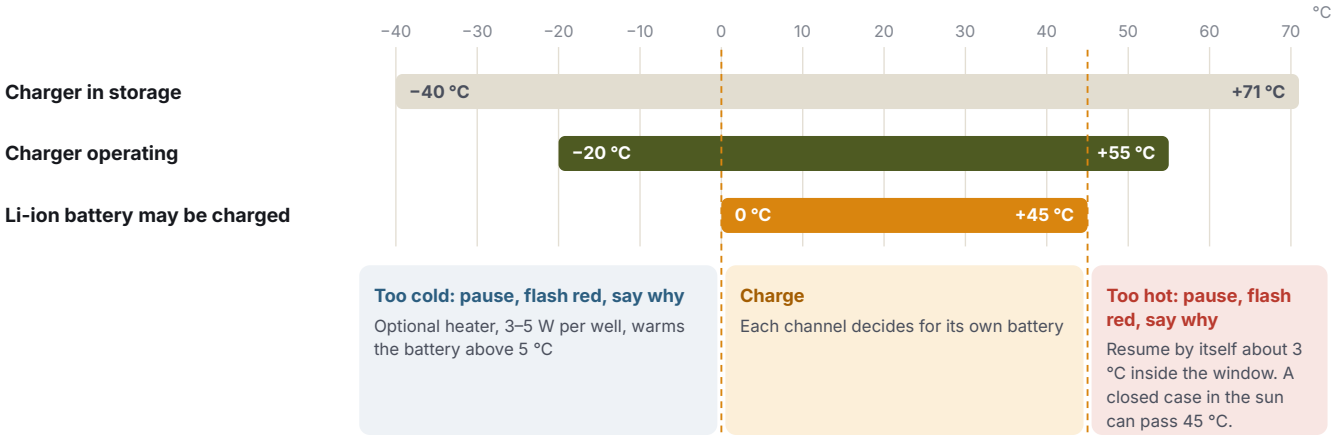
Niente ventola, per via dell'MTTF

Un MTTF richiesto di 40.000 ore è un budget di 25 guasti per milione di ore per l'intero caricabatterie. Il modo usuale per dimostrarlo è una previsione basata sulle sollecitazioni dei componenti secondo la MIL-HDBK-217F Notice 2 nell'ambiente terrestre mobile, dove i condensatori hanno un fattore ambientale venti volte quello di un ambiente benigno. Il cuscinetto di una ventola ha una vita caratteristica di circa 35.000 ore a 60 °C e 22.000 a 70 °C; in quella previsione, una sola ventola contribuisce con circa 43 guasti per milione di ore, più dell'intero budget. Questo chiude la questione: niente ventola all'interno, componenti declassati, e metodo di previsione, ambiente e temperatura concordati con il cliente prima che qualcuno faccia i conti. Dimostrare il valore con una prova è impraticabile: i piani di dimostrazione standard richiedono decine di migliaia di ore-unità senza guasti.

La batteria ha la sua finestra di temperatura

Una batteria Li-ion può essere caricata solo all'interno della finestra di temperatura consentita dal produttore, tipicamente da 0 a 45 °C, mentre al caricabatterie si chiede di solito di funzionare da −10 o −20 °C fino a +55 °C. Caricare una cella fredda deposita litio metallico e la distrugge; caricarne una calda ne accorcia la vita. Il caricabatterie deve quindi conoscere la temperatura di ogni batteria, dal termistore del pacco o dai suoi dati di batteria intelligente, e decidere per ogni canale separatamente.

Figura 6. Il caricabatterie deve funzionare in un intervallo più ampio di quello in cui la batteria può essere caricata.



Fonte: Typical Li-ion charging window from battery datasheets; charger ranges and behavior from the author's design.

Il comportamento che specifico: fuori dalla finestra, quel canale smette di caricare mentre display, lettura dei dati e autotest continuano a funzionare; il suo LED lampeggia in rosso e il display spiega perché, nella lingua dell'operatore; quando la batteria rientra nella finestra, con circa 3 °C di isteresi, la carica riprende senza che

nessuno la tocchi. Se un cliente deve caricare a −10 °C, un tappetino riscaldante da 3–5 W in ogni vano porta prima la batteria sopra i 5 °C. E poiché i vani di un involucro chiuso al sole possono superare i 45 °C, un tempo di carica promesso vale solo a temperatura moderata, e va scritto tra le ipotesi.

Sicurezza, temperatura al tatto, ESD ed ergonomia

Sicurezza. La IEC 62368-1 ha sostituito la IEC e la UL 60950-1 alla fine del 2020, e la sua edizione 2023 ha rivisto le clausole sulla carica delle batterie. Le letture pubblicate della sua tabella delle distanze in aria non concordano (1,5 e 3,0 mm in un rapporto di prova, 1,8 e 3,6 mm nella lettura di un produttore di semiconduttori), quindi progetto sui valori più grandi: almeno 1,8 mm per l'isolamento principale e 3,6 mm per quello rinforzato fino a 2.000 m, moltiplicati per 1,48 a 5.000 m. Un caricabatterie che eroga più di 100 W è un circuito PS3 e richiede un involucro antincendio; una cassa metallica lo è. Un rapporto di prova CB che copra l'allegato sulla carica delle batterie è il modo efficiente per dimostrare tutto questo.

Temperatura al tatto. La MIL-HDBK-454 ammette 49 °C sui comandi, 60 °C sulle altre parti raggiungibili con la mano e 70 °C altrove, a 25 °C ambiente. A +55 °C ambiente il metallo nudo supera già i 49 °C, quindi maniglie, manopole e paraspigoli sono in polimero o elastomero, e le superfici calde sono segnalate. La stessa guida chiede una corrente di dispersione di al massimo 3,5 mA, una resistenza di collegamento di al massimo 0,1 Ω e condensatori che si scarichino sotto 30 V entro 2 s.

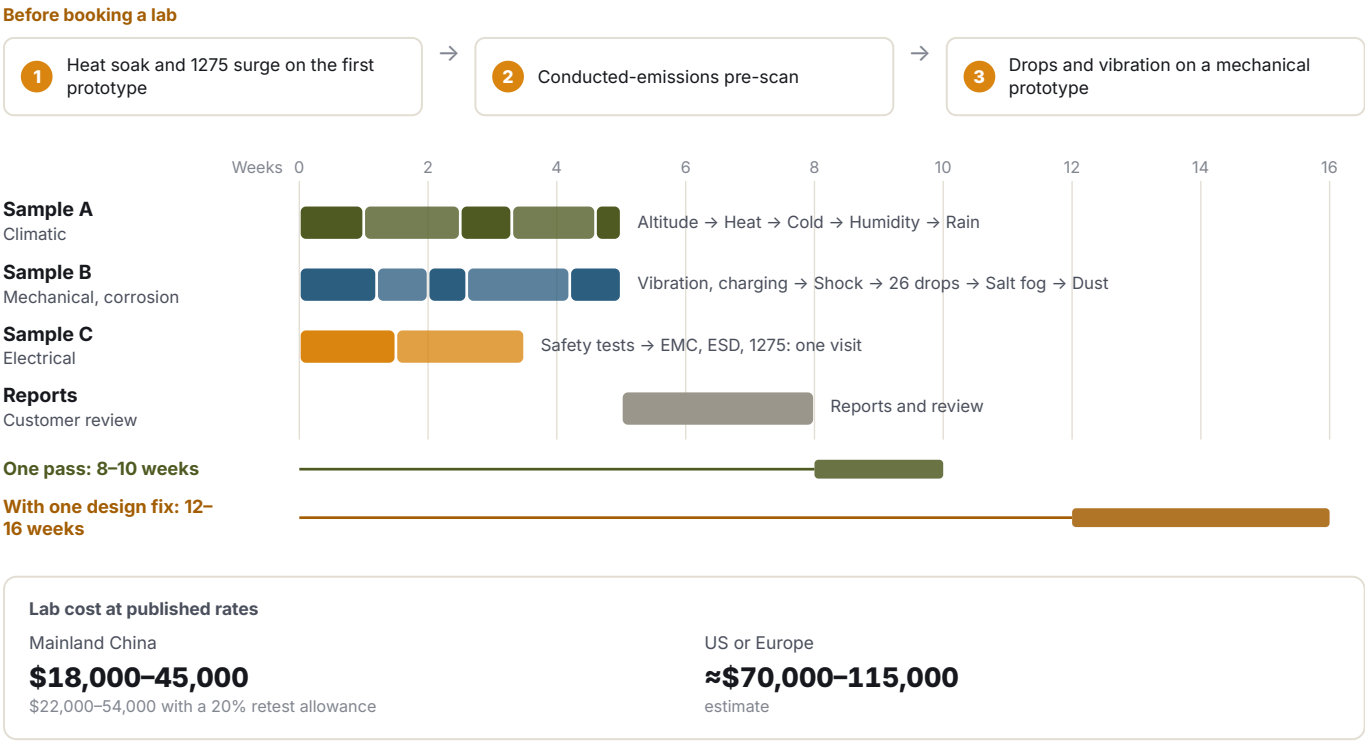
ESD. Il requisito usuale è una scarica a contatto di 4 kV secondo il modello del corpo umano su ogni comando che un operatore può toccare e al centro di ogni superficie, con 2 kV sui pin d'interfaccia non alimentati. Provare anche agli 8 kV della CS118 della 461G aggiunge margine quasi a costo zero. La fabbrica ha bisogno di un proprio programma di controllo ESD, secondo ANSI/ESD S20.20 o IEC 61340-5-1.

Ergonomia. La MIL-STD-1472 dimensiona una maniglia a una mano per una mano guantata con 125 mm di larghezza interna, 50 mm di spazio per le dita e 100 mm di profondità (111, 48 e 75 mm a mani nude; 135, 75 e 150 mm con le muffole), la coppia delle manopole tra 115 e 680 mN·m con scatti a 15–40° l'uno dall'altro, e caratteri alti da 2,5 a 5 mm a una distanza di lettura di 710 mm. Tutto si verifica con ispezione e dimostrazione con i guanti, senza costi di laboratorio.

Qualifica: tre campioni, due sequenze in parallelo, una sessione EMC

Tre campioni sono il numero comodo per la qualifica, due il minimo. Il campione A segue la sequenza climatica: bassa pressione, stoccaggio e funzionamento ad alta temperatura, bassa temperatura, radiazione solare se provata, umidità e pioggia. Il campione B segue la sequenza meccanica e di corrosione: vibrazioni in carica, trasporto, urto funzionale e manipolazione al banco, le 26 cadute, nebbia salina e polvere. Il campione C segue la sequenza elettrica: prove di tipo di sicurezza, MIL-STD-461, ESD e MIL-STD-1275. In parallelo, le prime due sequenze richiedono da quattro a cinque settimane; EMC e transitori di alimentazione da una settimana e mezza a due; rapporti e revisione del cliente ne aggiungono da due a tre. Fanno 8–10 settimane se tutto passa, e 12–16 settimane con una correzione di progetto.

Figura 7. Un piano di qualifica su tre campioni: 8–10 settimane se tutto passa, 12–16 con una correzione di progetto.



Fonte: The author's plan; lab rates from a Jiangsu provincial institute (2025), Taiwan's standards bureau and two US labs.

L'ordine conta più del laboratorio. Prima di prenotare qualsiasi cosa, eseguite la permanenza termica e la sovratensione 1275 sul primo prototipo, poi una pre-scansione EMC, poi cadute e vibrazioni su un prototipo meccanico. A quel punto diversi risparmi arrivano quasi gratis: funzionamento a caldo e a freddo in un'unica prenotazione di camera; batterie in carica durante le vibrazioni, il che dimostra anche il funzionamento in movimento; dati di sovratemperatura per il rapporto di sicurezza raccolti durante la permanenza a +55 °C; ESD e 1275 nella stessa sessione dell'EMC; un unico piano di prova che copre 810, 461 e 1275, approvato una volta dal cliente, che poi assiste solo a EMC, cadute e vibrazioni. Bassa pressione, radiazione solare e un impulso EMP irradiato si possono spesso dimostrare con un'analisi anziché con una prova.

Nessun laboratorio pubblica i prezzi delle prove militari, quindi i costi vanno ricostruiti da tariffari pubblici. Un istituto di prova provinciale del Jiangsu indica camere climatiche da 4,50 a 37 dollari l'ora e una camera EMC da 119 a 149 dollari l'ora; l'ufficio normativo di Taiwan indica le vibrazioni a circa 121 dollari, una prova di caduta a circa 73 dollari, l'ESD a circa 364 dollari e un set EMC completo a circa 2.610 dollari; negli Stati Uniti, un laboratorio pubblicizza prove MIL-STD-461 da 3.999 dollari e un altro fattura il tempo di ingegneria da 157 a 377 dollari l'ora. Ricostruito da queste tariffe, un set completo (461, 1275, ESD, dieci metodi 810 e un rapporto di sicurezza) costa circa 18.000–45.000 dollari nella Cina continentale, o 22.000–54.000 dollari con un margine del 20 % per una ripetizione, e lo stimo in 70.000–115.000 dollari negli Stati Uniti o in Europa. I laboratori pubblici di Taiwan non sono più cari di quelli continentali alle tariffe pubblicate. Se un acquirente accetti i rapporti di un dato laboratorio è una questione commerciale da chiarire prima della prima prenotazione.

Serve un caricabatterie costruito secondo questa checklist?

Questa checklist nasce dalla progettazione di un caricabatterie: un caricabatterie stagno senza ventola a quattro alloggiamenti con ingressi in alternata e 24 V da veicolo, costruito come piattaforma che va da due a otto alloggiamenti. Com'è costruito, come si colmano le lacune di una specifica e come passa da una specifica ai campioni di ingegneria in 16 settimane è in Caricabatterie multi-alloggiamento rinforzati su misura nel 2026, e quanto costano caricabatterie del genere è in Prezzi dei caricabatterie militari multi-alloggiamento nel 2026.

Se avete una batteria che ha bisogno di un caricabatterie rinforzato, inviate modello o scheda tecnica, numero di alloggiamenti, potenza d'ingresso, norme richieste e quantità a i@tanshuai.com. Rispondo con le domande che decidono il progetto.

Fonti

1. MIL-STD-1275E, Characteristics of 28 Volt DC Input Power to Utilization Equipment in Military Vehicles (2013). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL-STD-1275E_45886/
2. MIL-STD-1275B (1997). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL_STD_1275B_777/
3. Transient Specialists, PG-1275F transient generator user manual (revision F waveforms). https://transientspecialists.com/cdn/shop/files/Users_manual_PG-1275F_rev2.pdf
4. Texas Instruments, TIDUDG1, MIL-STD-1275 protection reference design guide. https://ti.com/lit/pdf/tidudg1
5. MIL-STD-461G, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics (2015). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461G_53571/
6. MIL-STD-461C (1986). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461C_19034/
7. In Compliance Magazine, MIL-STD-461H: a review. https://incompliancemag.com/mil-std-461h-a-review/
8. MIL-STD-810E, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines (1989), and 810H (2019) method equivalents. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810E_13775/
9. MIL-STD-1472F, Human Engineering. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1400-1499/MIL-STD-1472F_208/
10. MIL-STD-1686C, Electrostatic Discharge Control Program. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1600-1699/MIL-STD-1686C_5522/
11. MIL-HDBK-217F Notice 2, Reliability Prediction of Electronic Equipment. https://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0200-0299/MIL-HDBK-217F_NOTICE-2_14590/
12. MIL-HDBK-454, General Guidelines for Electronic Equipment (listing). https://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0300-0499/
13. Texas Instruments, SLUP419, insulation requirements of IEC 62368-1. https://www.ti.com/lit/pdf/slup419
14. Genorma, EN 50091-1-1:1996 status. https://genorma.com/en/standards/en-50091-1-1-1996
15. Battery University, BU-410: Charging at high and low temperatures. https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures
16. Jiangsu Administration for Market Regulation, product testing fee schedule (June 2025). https://scjgj.jiangsu.gov.cn/attach/0/7298087b18cf41529a3e43ac75aab677.pdf
17. Bureau of Standards, Metrology and Inspection (Taiwan), test fee table. https://www.bsmi.gov.tw/wSite/public/Attachment/f1784081743483.pdf
18. Sunfire Testing, MIL-STD-461 testing. https://www.sunfiretesting.com/military_device_mil-std-461/
19. Hi-Test Laboratories, 2023 rates. https://hitestlabs.com/s/2023-Rates_Update.pdf

Sull'autore

Tan Shuai è un tecnologo e fondatore con oltre vent'anni di lavoro tra chip, hardware e software di sistema, e 20 brevetti concessi. Il suo lavoro lo ha portato attraverso la Silicon Valley, New York, Chicago, Taiwan, la Greater Bay Area (Shenzhen e Hong Kong), il Vietnam e la Malesia, con una lunga attenzione alla manifattura avanzata e alle catene di fornitura. Oggi lavora come ricercatore e sviluppatore di IA, e costruisce elettronica rinforzata su misura con partner di produzione a Shenzhen.

Progetti di caricabatterie rinforzati e confronto tecnico: i@tanshuai.com.