



Ricerca di Sistema elettrico

Test di caratterizzazione e di calorimetria a cono condotti su celle di interesse automotive

Cinzia Di Bari,
con i contributi di: I. Morriello, V. Sglavo, A. Tati

Michele Mazzaro, L. Bottà, M. Teoli



TEST DI CARATTERIZZAZIONE E CALORIMETRIA A CONO CONDOTTI SU CELLE DI INTERESSE AUTOMOTIVE

Cinzia Di Bari, con i contributi di: I. Morriello, V. Sglavo, A. Tati (ENEA)
Michele Mazzaro, L. Bottà, M. Teoli (CNVVF)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI

Progetto D.7: MOBILITÀ ELETTRICA SOSTENIBILE

Obiettivo: Tecnologie e infrastrutture di ricarica (in particolare veloce) di veicoli elettrici, dimensionamento in funzione della diffusione della mobilità elettrica.

Responsabile del Progetto: ing. Maria Pia Valentini ENEA

Attività b.4: Sicurezza accumulo al litio. Responsabile dell'attività: dott.sa Cinzia Di Bari (ENEA). Si ringraziano: Manlio Pasquali, Davide Pelliccioni (UniRoma 1) e Ianniello, Calvigioni, Manni, Messale, Mangione, Imperi con N. Ranieri (responsabile di ENEA ISER CAS).

Indice

SOMMARIO.....	4
PREMESSA SULLA NASCITA E SULL'UPGRADE DELL'IMPIANTO FARO	5
STORIA E DOTAZIONI DELL'IMPIANTO FARO (CON IL CONTRIBUTO DI ILARIO MORRIELLO)	6
DOTAZIONI DELL'IMPIANTO FARO.....	11
PROVE IN CAMPO APERTO	14
1 INTRODUZIONE	16
2 PROVE DI ABUSO SU BATTERIE LITIO-IONE PER E-BIKE	16
2.1 PIANO DI PROVE E STATO DI AVANZAMENTO	18
2.2 CONTROLLO RADIOGRAFICO TRAMITE PANNELLO DIGITALE (CONTRIBUTO DI ANGELO TATI)	20
2.2.1 Documentazione fotografica	20
3 PROVE SU CELLE LITIO-IONE CILINDRICHE NCR 18650	25
3.1 PIANO DI PROVA E STATO DI AVANZAMENTO DELLE ATTIVITÀ	25
3.1.1 Informazioni generali sulle celle.....	27
3.1.2 Prove, preparazione e procedure	34
3.2 CONTROLLO RADIOGRAFICO TRAMITE PANNELLO DIGITALE (ANGELO TATI).....	35
3.2.1 Radiografia digitale	35
3.2.2 Documentazione fotografica dei risultati	37
3.3 CARATTERIZZAZIONE CHIMICO FISICA EX ANTE E EX-POST	41
3.4 CARATTERIZZAZIONE ELETTRICA E FORMAZIONE (VINCENZO SGLAVO)	42
3.4.1 Identificazione e descrizione delle batterie in prova	42
3.4.2 Caratterizzazione elettrica.....	42
3.4.3 Verifica delle caratteristiche delle celle rispetto ai parametri dichiarati dal costruttore.....	43
3.4.4 Analisi del comportamento delle celle a diverse condizioni di prova.	44
3.5 PROVE DI ABUSO TERMICO ED IMMERSIONE IN ACQUA (MICHELE MAZZARO, LUCIANO BOTTÀ E MARCO TEOLI – CNVVF – NIA)	46
3.5.1 Prove al cono calorimetro su celle Li-ione del 26/03/2018	46
3.5.2 Prove al cono calorimetro su celle Li-ione eseguite nel mese di giugno 2018.....	48
3.5.3 Prove eseguite su piastra riscaldante	49
3.5.4 Prove di immersione in acqua.....	50
3.6 CALORIMETRIA A CONO	52
3.6.1 Il calorimetro a cono	52
4 CONCLUSIONI.....	54
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	55
6 ALLEGATO 1 – MSDS DELLE CELLE PANASONIC 18650.....	56

Sommario

La finalità di questo RT è quello di presentare gli studi in corso presso ENEA su celle di interesse automotive, con particolare riferimento a celle NMC 18650.

In particolare si intende documentare il lavoro di progettazione della sperimentazione, lo stato di avanzamento e i primi risultati ottenuti da tutti coloro che hanno partecipato all'esperienza: ENEA, CNVVF - nell'ambito della collaborazione iniziata attraverso la stipula di un Accordo, firmato lo scorso 21 giugno 2017 dagli organi di vertice (il presidente dell'Enea e il capo del CNVVF) e due Accordi di Collaborazione stipulati con l'Università "Sapienza" di Roma: le relazioni tecniche prodotte dal gruppo della professoressa Paola Russo e del gruppo del professor Alessandro Bacaloni saranno solo richiamate e introdotte in testo e ad esse si rimanda.

Partendo da una necessaria premessa sulla nascita e sull'upgrade dell'impianto di prove all'aperto, denominato Impianto FARO, realizzato da Enea presso il CR Casaccia, e presentando anche alcuni dati di carattere economico, il lavoro prosegue con una Introduzione e la presentazione vera e propria del lavoro svolto, suddivisa in due capitoli: batterie per e-bike e il più corposo lavoro sulle celle NMC 18650. In particolare verranno trattati i seguenti argomenti: la progettazione e delle attività preliminari effettuate su batterie per biciclette a pedalata assistita, con riferimento al piano di prova, allo stato di avanzamento delle attività e ai primi risultati di imaging radiografico; il piano di prova e lo stato di avanzamento delle attività effettuate su celle 18650 Panasonic, la presentazione dei primi risultati di imaging radiografico e caratterizzazione elettrica effettuati in Enea; i risultati delle prove, eseguite dal CNVVF, di esposizione a calore radiante; il collegamento con le attività di calorimetria a cono e analisi chimica *ex ante* e *ex-post*, affidate alla Università di Roma, rispettivamente, al Dipartimento di ingegneria chimica e al Dipartimento di chimica.

Il RT si conclude con alcune prime conclusioni. Una più compiuta discussione dei risultati e il completamento delle prove verranno effettuate nel corso del 2019.

Premessa sulla nascita e sull'upgrade dell'Impianto FARO

Si ritiene necessario premettere a questo lavoro, una descrizione della storia di questa attività sulla sicurezza dei sistemi di accumulo, anche per dare modo ai destinatari di questo lavoro di comprendere gli sforzi e i risultati ottenuti in questi anni.

Le attività sulla sicurezza dei sistemi di accumulo iniziano nel 2011, con uno studio preliminare sulla sicurezza dei sistemi di accumulo litio ione effettuato per poter risolvere le problematiche di sperimentazione di un sistema di accumulo realizzato dall'attuale laboratorio DTE PCU STMA per la funicolare di Bergamo, ovvero la realizzazione di un locale accumulatori in mancanza di norme tecniche e giuridiche specifiche per i locali di accumulo realizzati con sistemi di ione.

Sono seguiti poi altri studi, finanziati dalla ricerca di sistema nei PAR 2012 e 2013, che hanno consentito di mettere a punto una Safety Review [1] e uno studio preliminare sulla sicurezza dei sistemi di accumulo realizzati con sodio ad alta temperatura [2]. Sono stati inoltre effettuati alcuni test calorimetrici (DSC) su sostanze pure e loro miscele di composti chimici presenti all'interno di una cella litio ione [1], che messo in evidenza gli effettivi pericoli connessi all'abuso di questi sistemi.

Da qui, sempre nell'ambito del Progetto Accumulo (di cui era referente Dottor Mario Conte) e grazie alla disponibilità della Squadra di Pronto Intervento del CR Casaccia, è stato possibile iniziare a porsi il problema di come intervenire in caso di emergenza. Si trattava di un problema complesso, peraltro ancora non risolto, che necessitava di iniziare a fare qualche prova di abuso su celle e batterie, interessarci alla quantità di energia meccanica e termica sprigionata nel corso di tali prove, individuare appropriati metodi di estinzione degli incendi, effettuare analisi chimiche di fase gassosa e fase solida residua da tali prove, ripristinare le aree di prova con la raccolta dei rifiuti e l'appropriata categorizzazione.

Tenendo conto delle evidenze sperimentali emerse dagli studi effettuati, al fine di operare in completa sicurezza, si è deciso di accogliere la proposta di ISER CAS di realizzare l'impianto FARO (**F**ormazione **A**ntincendio, **R**icerca e **s**vilupp**O**) in un'area da riqualificare, presente all'interno del CR Casaccia e adibirlo essenzialmente alle prove di abuso e alla formazione antincendio (Figura 1).

In tale area avrebbero operato la sottoscritta insieme ad alcuni colleghi del laboratorio STMA e la SPI. Le prove che abbiamo fatto, dopo la riqualificazione del sito, non sono state molte a causa della sempre più inferiore disponibilità del personale Enea. Ma sono state sufficienti per prendere contatti con il corpo nazionale dei vigili del fuoco, stipulare un accordo di collaborazione su questa tematica (21 giugno 2017, a firma del Capo del CNVVF e del Presidente dell'ENEA), attivare un ciclo di sperimentazioni presso Capannelle, far crescere il progetto fino a coinvolgere alcune istituzioni universitarie che avrebbero potuto aiutarci ad affrontare e risolvere le problematiche anzidette. Di fatto, l'impianto FARO ha le potenzialità per essere implementato e associato ad attrezzature appropriate per prove in ambiente confinato [3].

Gli investimenti totali effettuati sull'impianto ammontano a circa 130.000 €, spesi nell'ambito dei PAR 2014, 2015 e 2017. E solo nel corso del PAR 2017, anche a valere sul Progetto Elettromobilità (Tabella 1, Figura 2, Figura 3).

Nel corso del PAR 2016 e 2017 si sono affiancate agli studi sull'Accumulo, anche attività specifiche nel progetto Elettromobilità e si prevede che le attività sulla sicurezza dei sistemi di accumulo, possano continuare solo su questa linea progettuale, fermo restando che non dovrà essere perduta l'attenzione all'accumulo stazionario. Nello scorso biennio è stato possibile dotare l'impianto di locali abitabili e climatizzati utilizzabili per la gestione delle prove e la preparazione dei campioni, oltre che per l'addestramento o la presentazione di prove ad eventuali committenti o ospiti. Sono state acquistate anche alcune attrezzature trasportabili – non incluse nei conteggi – come un caricabatterie e un carico da banco e un sistema di videoproiezione.

Le potenzialità dell'impianto, se fossero affiancate da una adeguata dotazione di personale, sarebbero tali da consentire di effettuare prove su commissione e la messa a punto di prove riproducibili, come anche la sperimentazione delle prove attualmente previste dalla normativa tecnica di settore.

Storia e dotazioni dell’Impianto FARO (con il contributo di Ilario Morriello)

Come già detto, la SPI di ISER CAS ha avuto un ruolo originale e fondamentale nel passaggio delle attività sulla sicurezza dei sistemi di accumulo, dalla teoria alla pratica. In particolare i colleghi della squadra di pronto intervento (SPI)¹ si sono dedicati alla realizzazione, secondo le indicazioni tecniche concordate e utilizzando materiali di recupero, DETONAT, la facility di prova costituita da: un bruciatore denominato *Scorpion*, un supporto, la vasca di contenimento, una cabina di protezione e altri supporti per le prove di esposizione a calore e l’installazione di altri strumenti. Lo SPI ha inoltre affiancato la scrivente, nelle procedure di affidamento dei contratti di fornitura delle opere (PAR 2014 e PAR 2015 e PAR 2017), occupandosi in toto della direzione dei lavori e della progettazione degli interventi.

L’impianto FARO si sviluppa su un’area di circa 900 mq (Figura 4) riqualificata in economia con fondi del PAR 2014 e PAR 2015. L’area è localizzata all’interno del CR Casaccia (Figura 5) e l’impianto è finalizzato all’effettuazione delle prove di abuso su batterie Litio-ione e su Sodio ad alta temperatura, alla sperimentazione di sistemi di estinzione su batterie. Nella struttura si potranno sperimentare anche procedure di emergenza per l’intervento su sistemi di accumulo o apparecchiature utilizzatrici, nonché condurre le attività per l’addestramento antincendio convenzionale. Inizialmente (Figura 6) sono stati recuperati alcuni box dismessi presenti all’interno del centro Ricerche, poi, nel corso del PAR 2017 - progetto Elettromobilità, è stato possibile implementare la logistica con locali più adeguati, compreso un locale spogliatoio e i bagni donna/uomo (Figura 7).



Figura 1. Bozza cartello Impianto Faro

¹ In particolare, la Squadra composta da: I. Morriello (mio principale referente), Ianniello, Calvigioni, Manni, Messale, Mangione e M.Imperi (in qualità di coordinatore) con N. Ranieri, responsabile di ENEA ISER CAS.

Tabella 1. Acquisti relativi alla realizzazione dell'impianto

Descrizione	EV/ACC	PAR	Totale con IVA (€)		
kit sicurezza operatori prove abuso	EV	2017	3738,64		
n. 3 workstation (WS) HP Z240 con monitor 24 pollici orientabile, tastiera e mouse; n. 2 HP 250 G5 Notebook (NB)	EV	2017	8618		
Cartellonistica Impianto FARO + Restyling prototipo veicolo Urb-E 4.0 ai fini dimostrativi	EV	2017	1282		
Kit trasportabile per presentazioni multimediali	EV	2017	2715,7		
BOX Campo Prove per integrazione logistica	EV	2017	48800		
Package termografico avanzato T450 SC	ACC	2015	21106		
Impianto FARO: realizzazione reti servizi e recinzione: Rete gas, Parco bombole gas combustibili, Rete acqua, Rete elettrica, Recinzione del campo	ACC	2015	14036		
Impianto FARO: fornitura e posa in opera di lapillo cementato 60m ³ , preparazione area 300mq, deposito attrezzature in container "ad hoc"	ACC	2014	7800		
Telecamera Dome IP eyeball, FULL HD, 1/2.8", H.264, D&N meccanico, varifocal 3.3~12 mm, audio, SD, IP66, 12Vc.c. e PoE + Action cam miniaturizzata 1080p, H.264 Full HD, colore bianco	ACC	2014	2000		
Kit per prove di estinzione incendio, tra cui DPI III categoria per lo SPI; Misuratore laser Disto D2; estintori e estinguenti	ACC	2014	9726		
DPI II categoria SPI	ACC	2014	1956		
Altro DPI III categoria: Tute antigas, Autorespiratori RNMK2/BN 1603, Rilevatore portatile di gas ed atmosfere esplosive, Kit di prova ARAC MINI PLUS per il controllo e la taratura di maschere a pieno facciale a pressione negativa e positiva (DPI III categoria)	ACC	2014	8477		
TOTALI PARZIALI (€)					
Realizzazione campo prove	7800	14036	21836		
Locali operativi e cartellonistica	48800	1282	50082		
DPI ed estinzione incendi	9726	1956	8477	3738,64	23448
Termocamera, telecamere, HW	2000	21106	2715,7	8618	34442
TOTALE (€)					129.808

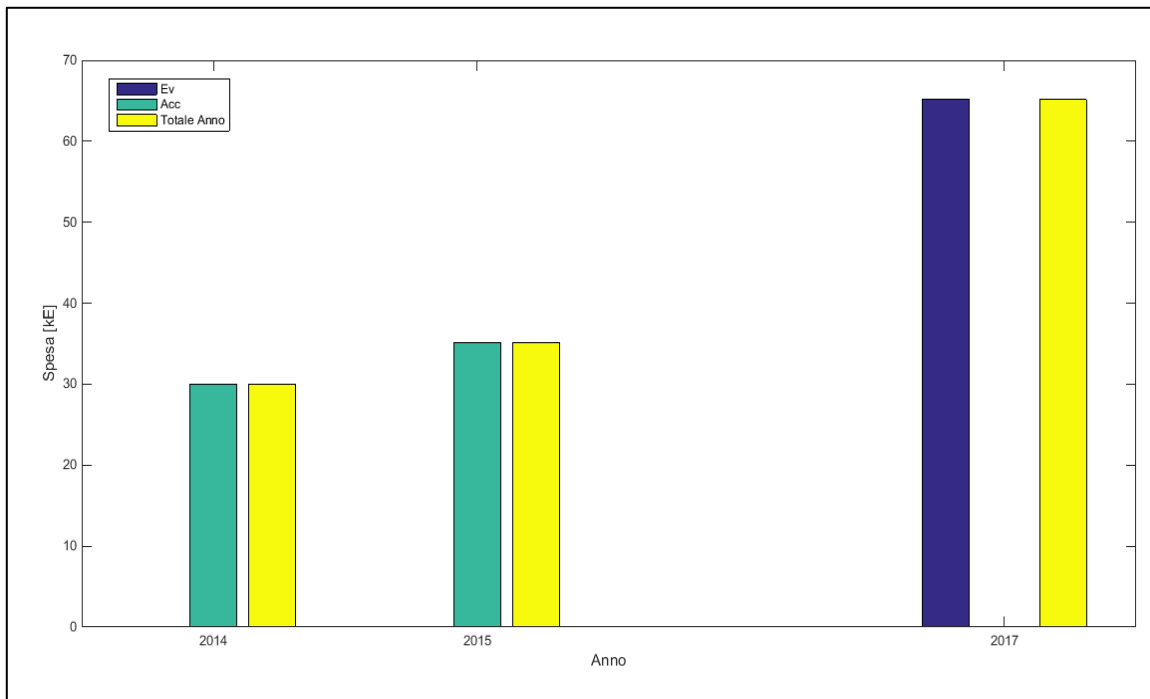


Figura 2. Distribuzione spese realizzazione impianto FARO tra Progetto Accumulo e Progetto Elettromobilità nei PARR 2014-2017 (Elaborazione grafica: ing. M. Pasquali – ENEA DTE PCU STMA)

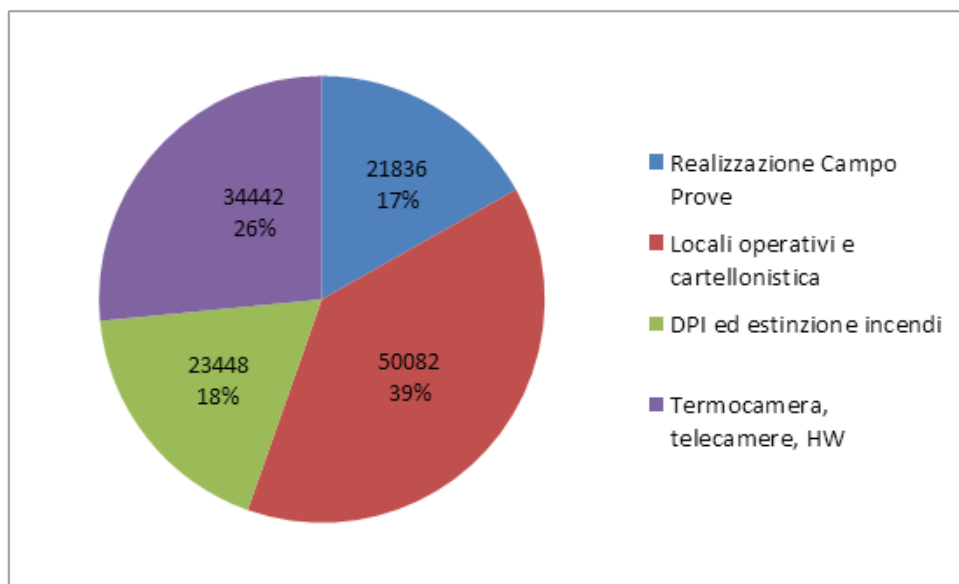


Figura 3. Impianto FARO: distribuzione spese realizzazione PARR 2014-2017 (Elaborazione grafica: ing. M. Pasquali – ENEA DTE PCU STMA)



Figura 4. Area destinata alla realizzazione dell'Impianto FARO, prima dei lavori

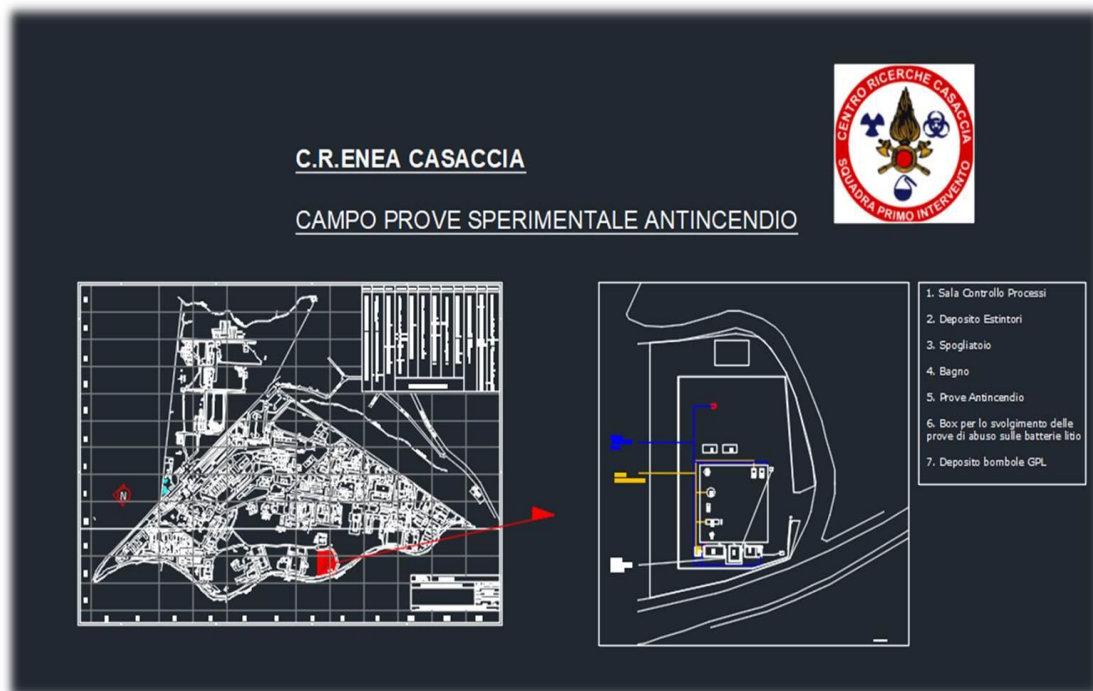


Figura 5. Localizzazione dell'Area di Figura 1



Figura 6. Primi lavori eseguiti nel corso del PAR 2015 (opere di pulizia, scavo e installazione box di recupero) e del PAR 2016 (perimetrazione e cancello)



Figura 7. PAR 2017 – EV: acquisto e posizionamento di nuovi moduli, tra cui una unità per prove da fumo

Dotazioni dell'impianto FARO

Il **DETONAT.** È stato sviluppato (Figura 8 e Figura 9) un tavolo alto 50 cm, è posta una vasca metallica di contenimento dotata di fori di drenaggio contenuto, delle dimensioni di 1m per 1m. Sulla stessa verrà posizionato un piccolo circuito tubolare a forma di scorpione (**Scorpion**) che sarà usato per innescare l'incendio. Lo Scorpion è stato costruito con tubi, zincati utilizzando la tecnologia idrica, sia per una maggiore economicità, sia soprattutto per una più semplice e rapida modifica delle geometrie e dei componenti, dovuti alle probabili diverse grandezze delle "batterie" e/o alla verifica sul campo di reazioni diverse a quelle ipotizzate. Da ultimo l'intercambiabilità degli ugelli di fuoriuscita del gas Propano, utilizzato per alimentare il fuoco di inizio incendio, confermano la grande versatilità di tutta l'attrezzatura. Lo Scorpion sarà collegato alla bombola di gas posizionata a distanza di sicurezza tramite un tubo metallico munito di una valvola di

intercettazione. Dalla vasca di contenimento è possibile recuperare i reflui per lo smaltimento secondo le norme di legge.

Attrezzature di spegnimento incendio. Detta attrezzatura è costituita da ugelli /diffusori dei vari materiali estinguenti che verranno testati nel corso delle varie fasi sperimentali. Detti diffusori verranno posizionati presumibilmente sopra e/o lateralmente alla “batteria” incendiata. Sarà l’esperienza nel corso delle prove ad indicarci sia le posizioni, sia la sostanza più efficiente per un più rapido spegnimento dell’incendio. Gli ugelli saranno fermati su dei tralicci metallici solidali al tavolo di base, saranno collegati sia alle bombole di estinguente, sia all’acqua di spegnimento sempre tramite tubi metallici, sufficientemente lunghi da permettere di operare sulle valvole di intercettazione in completa sicurezza dell’operatore preposto.

Attrezzature di monitoraggio e registrazione evento. Per poter monitorare l’andamento del fuoco e il successivo spegnimento abbiamo posizionato una struttura chiusa frontalmente da vetro antiproiettile e rinforzata da un pannello di lamiera da circa 1mm. In modo da permette di vedere direttamente l’evento in tutta sicurezza. In aggiunta alla visione diretta ci saranno una serie di videocamere e termocamere che permetteranno di registrare digitalmente il corso dell’evento da varie angolazioni. Le immagini saranno coadiuvate anche dal monitoraggio termico fornito da una serie di termocoppie posizionate nei vari punti delle celle testate

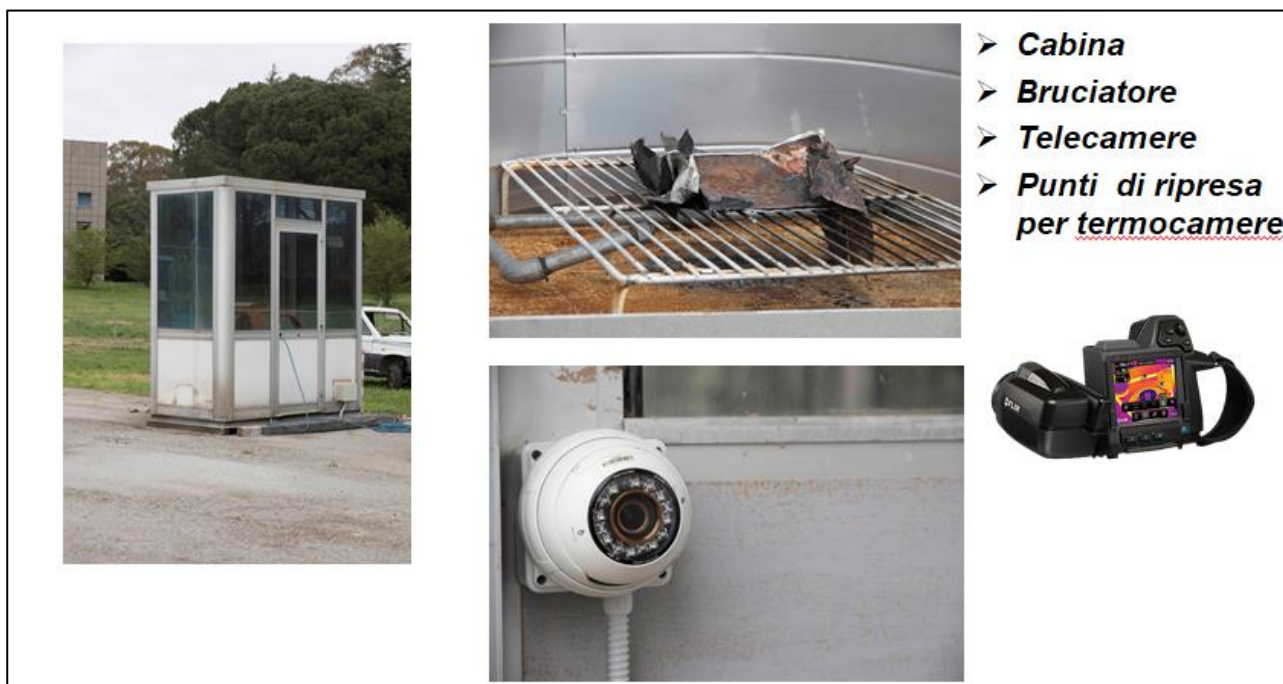


Figura 8. Cabina di prova con dotazioni

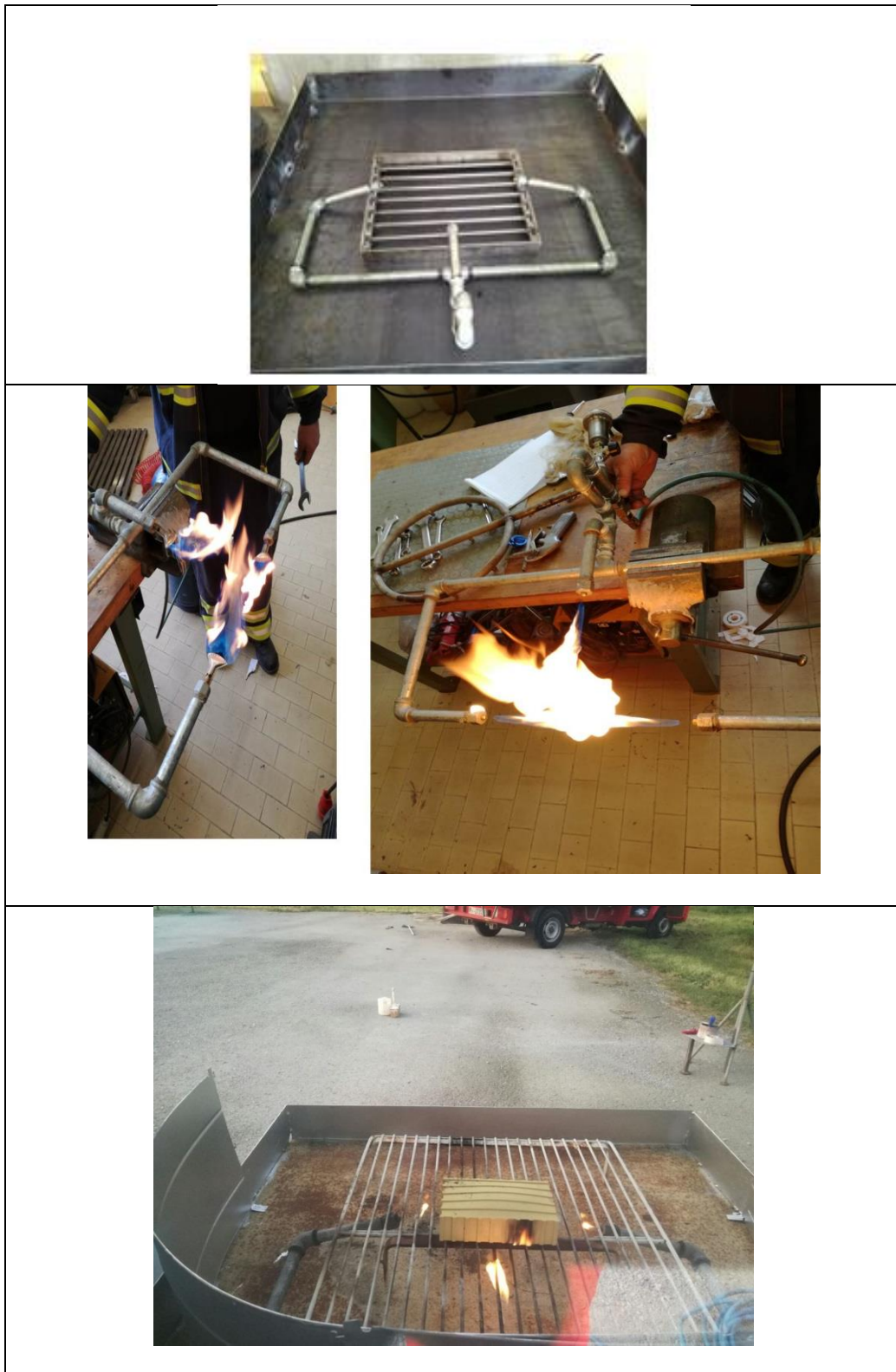


Figura 9. Realizzazione e collaudo del braciore DETONAT.

Prove in campo aperto

Le prove progettate insieme ai tecnici del Laboratorio STMA, vengono discusse con il personale dello SPI del CR Casaccia, con il quale è stata redatta una procedura base di sicurezza e di gestione dei rifiuti, vengono eseguite da remoto, con la presenza di personale SPI in prossimità del DUT (*Device Under Test*). Il personale è dotato di tutti i necessari DPI di III categoria ed è informato, formato ed addestrato sul loro utilizzo. Le prove sono monitorate con telecamera e termocamera FLIR Sc 45.

Nel caso in cui si debbano effettuare prove in ambiente confinato (camera climatica per prove di abuso, a tutt'oggi ancora in corso di messa a punto), comunque la prova in campo è preliminare e necessaria per la corretta messa a punto dei test successivi.

Di seguito si elencano le principali tipologie di prove previste in aria (all'aperto), alcune delle quali sono state presentate in precedenti Rapporti tecnici:

- *Abuso termico: esposizione a calore elevato (riscaldamento a 600-800 °C) e, le stiamo mettendo a punto, a calore medio (fino a 250 °C) con l'uso di riscaldatori piani a resistenza adesivi;*
- *Prove di estinzione incendio*
- *Abuso elettrico: prove di cortocircuito e overcharge/overvoltage a vari stati di carica (Figura 10, Figura 11).*
- *Prove di partecipazione al fuoco e di estinzione incendio (Figura 12)*



Figura 10. Prova di cortocircuito su modulo da 24 kg



Figura 11. Prova di cortocircuito su Modulo Thundersky



Figura 12. Esposizione a fiamma del modulo Thundersky dopo cortocircuito [4] (v. figura 11)

1 Introduzione

Nell’ambito del PAR 2016 sono stati acquistate da un fornitore specializzato, celle e batterie di interesse EV: un set di celle planari Kokham, 3 batterie commerciali per bicicletta complete di caricabatteria e 4 diversi tipi di celle 18650 prodotte per la PANASONIC da aziende localizzate in Cina (Tabella 2) . Gli accumulatori erano destinati alla esecuzione e messa a punto di prove di abuso distruttive, inclusa la caratterizzazione chimico-fisica ex-ante e post (fase solida, liquida e aeriforme), nonché al test di estinguenti.

Tabella 2. Accumulatori di interesse automotive acquistate nel PAR 2016

Quantità	Tipologia	caratteristiche
3	Batterie Litio-ione per E-Bike con caricabatteria	12Ah, 10A cont., pulse 20A discharging current; caricabatterie da 2A
20	Celle Kokam Li-Po battery	SLPB90216216(40Ah)
20	Celle Kokam Li-Po battery	SLPB60216216(25Ah)
250	Celle Panasonic BX	n. 100 celle Panasonic 18650B unprotected + n. 50 celle Panasonic 18650B protected + n. 50 Panasonic 18650BD unprotected + n. 50 Panasonic 18650BE unprotected

Di seguito si effettuano le presentazioni di: progettazione e delle attività preliminari effettuate su batterie per biciclette a pedalata assistita, con riferimento al piano di prova, allo stato di avanzamento delle attività e ai primi risultati di imaging radiografico; piano di prova e lo stato di avanzamento delle attività effettuate su celle 18650 Panasonic, la presentazione dei primi risultati di imaging radiografico e caratterizzazione elettrica effettuati in Enea; introduzione della Parte 2 del presente RT, nell’ambito della quale il CNVVF presenterà i risultati delle prove di esposizione a calore radiante; collegamento con le attività di calorimetria a cono e analisi chimica ex ante, affidate alla Università di Roma, Dipartimento di ingegneria chimica e dipartimento di chimica, compiutamente riportate all’interno dei rapporti tecnici prodotti dai referenti scientifici e dai loro gruppi di ricerca, ai quali si rimanda espressamente. È stata scelta questa modalità di esposizione dei risultati per snellire un lavoro complesso e disporre comunque di un documento generale di impianto, che costituisce la chiave del lavoro svolto nel corso di questo anno.

2 Prove di abuso su batterie Litio-ione per e-bike

L’interesse per le batterie impiegate nelle biciclette elettriche o a pedalata assistita, risiede sia nella elevata diffusione di questo veicolo a due ruote e nella tendenza a percepire la presenza della batteria come un accessorio che ne enfatizza la comodità che nella documentata presenza di incidenti in questo settore. Naturalmente stiamo trattando di una batteria per veicoli elettrici, a due ruote. Ed è stata immessa sul mercato la VESPA elettrica [5]: i veicoli sono in prenotazione [6] e portano un pacco batterie di 25 kg realizzato con celle LG Chem ed una capacità di 86 Ah. Si ricarica in 4 ore, il motore ha potenza di picco pari a 4kW e percorre 100 km con una carica [7]. Il mondo delle due ruote lente è , a parere della scrivente, da considerare il futuro della elettromobilità: flessibilità, adatta al traffico cittadino, possibilmente lento; adatta per il trasporto singolo, cosa attualmente effettuata con ingombranti automobili...e ad esse si potrebbe sostituire.

Le biciclette elettriche possono essere suddivise in due **macrocategorie**: biciclette elettriche con sistema di accelerazione e biciclette elettriche a pedalata assistita.

Nel primo caso, la bicicletta elettrica che possiede il sistema di accelerazione è dotata di un motore elettrico azionato da una leva acceleratrice, generalmente posizionata sul manubrio che permette di accelerare

indipendentemente dall'uso di pedali. Questo tipo di veicolo ecologico non è propriamente una bici elettrica ma è categorizzato come "motorino elettrico", e come tale, è oggetto di:

- immatricolazione
- omologazione
- targa
- assicurazione
- indosso del casco
- e tutte le operazioni da svolgere in caso di veicoli a motore.

Nel secondo caso, la bicicletta a pedalata assistita (EPAC - Electric pedal assisted cycle, detta anche bici elettrica, *pedelec* o *bipa*), è una bici alla cui azione propulsiva umana si aggiunge quella di un motore.. E' dotata di una centralina elettronica intelligente che capisce quando il guidatore sta impiegando i pedali e quando no ed attiva il motore elettrico solamente nel caso in cui i pedali risultino in movimento.

Quindi non c'è una sostituzione in toto della pedalata con il motore. Nella pratica, basta fare una pedalata ogni tanto per tenere attiva la bicicletta elettrica ed il suo motore.

In particolare [8], la direttiva europea 2002/24/CE (articolo 1, punto h) definisce la bicicletta a pedalata assistita come una bicicletta dotata di motore elettrico ausiliario e con le seguenti caratteristiche (Figura 13):

- potenza nominale massima continua del motore elettrico: 0,25 kW
- alimentazione del motore progressivamente ridotta e quindi interrotta al raggiungimento dei 25 km/h
- alimentazione del motore interrotta prima dei 25 km/h se il ciclista smette di pedalare

Ai veicoli che soddisfano questa direttiva non viene richiesta l'omologazione e sono considerati a tutti gli effetti come le biciclette tradizionali. Veicoli invece che non soddisfano contemporaneamente questi requisiti non possono essere considerati biciclette e devono essere quindi omologati e immatricolati.

Questa direttiva è stata recepita in Italia con il decreto 31 gennaio 2003 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ed è pertanto in vigore.

La percezione del rischio, come abbiamo già accennato, è praticamente nulla: questi veicoli sono custoditi e parcheggiati prevalentemente all'aperto e non è raro vederli, in giornate assolate da Italia Centrale, lasciati al sole, dove si possono oltrepassare i 60°C e l'irraggiamento termico solare permette l'accumulo di calore all'interno degli oggetti che incontra, incluse le batterie che, spesso, sono dotate di *case* nero.

In commercio ci sono ora Mountain-bike, rampichini, city-bike di tutte le fogge. Sul mercato sono disponibili kit di conversione di una bici normale in una a pedalata assistita, ma anche istruzioni per la realizzazione "fai-da-te" delle batterie, sorprendentemente ben dettagliate [9]. E questo è solo un esempio (Figura 14) di "aggravamento del rischio", in un mercato che è completamente libero da vincoli di legge, senza una catena di responsabilità individuabile (non tracciato) e privo di informative di sicurezza.



Figura 13.

https://it.wikipedia.org/wiki/Bicicletta_a_pedalata_assistita#/media/File:Electric_Bicycle_Diagram.jpg

:

Step 2: Order Your Components!

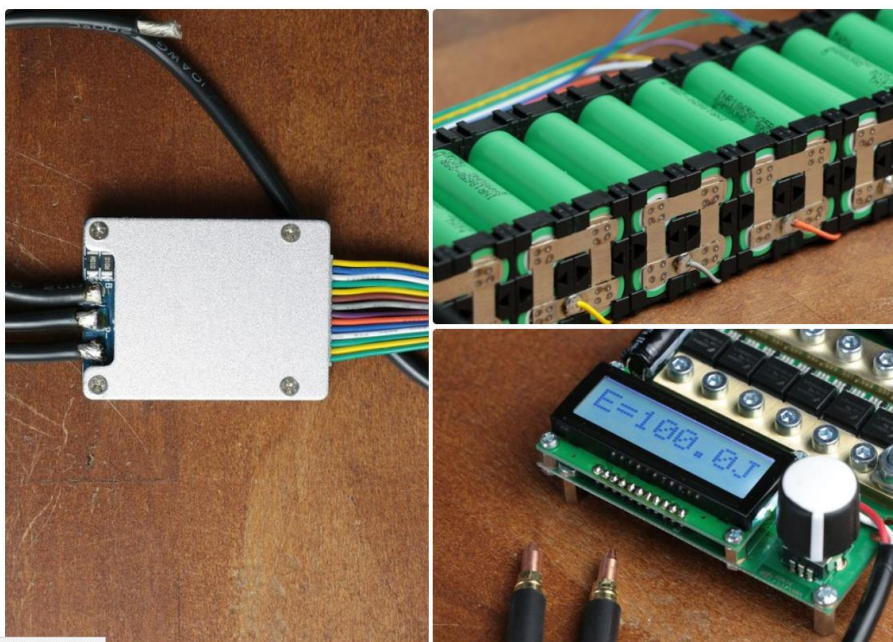


Figura 14. Immagine rappresentativa delle istruzioni per l'autocostruzione della batteria e-bike. Fonte: <https://www.instructables.com/id/DIY-EBike-Battery-Pack/>

2.1 Piano di prove e stato di avanzamento

Sono state acquisite, alla fine del 2017, **3 batterie commerciali per e-bike**, complete di caricabatterie e di produttore ignoto. Le batterie sono di forma prismatica, di capacità 12Ah, 10A *cont.*, *pulse 20A discharging current*, corredate di caricabatterie da 2A fornite dallo stesso produttore, di cui non sono note le generalità.

In testa, lateralmente, la batteria è dotata di serratura a chiave per la disabilitazione (interruttore) della erogazione.

Dalle radiografie, la batteria risulta costituita da celle cilindriche 18650. In figura 17 si può riconoscere il circuito stampato di regolazione (BMS) e in tutte le radiografie si possono individuare i cavetti di collegamento tra le celle e con il circuito stampato. Una più attenta ricostruzione della immagine totale consentirebbe di conoscere anche il numero di celle utilizzate. Si verifica anche l'integrità strutturale di tutte le celle.

Queste osservazioni depongono a favore dell'utilizzo della tecnica a Raggi X per l'*imaging* preliminare di una batteria.

Si è programmato di effettuare il seguente ciclo prove, che verranno monitorate con la termocamera e con le telecamere in dotazione, laddove necessario. Di seguito si presenta il prospetto di avanzamento attività e i primi risultati disponibili.

1. Esame a raggi X

- Le batterie sono state sottoposte ad indagini radiografiche effettuate dal collega ENEA, dott. Angelo Tati specialista ENEA in prove non distruttive, di cui si riportano i risultati.

2. Smontaggio della batteria sottoposta a raggi X e prove di esposizione a fiamma sulle celle da eseguirsi con il personale dello SPI in impianto FARO. Lo smontaggio della batteria e le prove di esposizione a fiamma sono comunque propedeutiche alle prove seguenti, in quanto necessarie a verificare il comportamento delle stesse e progettare la sicurezza dell'esperimento.

- Attività non iniziata.

3. Analisi chimiche ex ante sulle celle. Sarà effettuata con la collaborazione dei chimici della Università La Sapienza, nel caso in cui l'attività sia finanziabile.

- Attività non iniziata.

4. Simulazione di parcheggio al sole di una bicicletta elettrica con montaggio orizzontale della batteria e a - esposizione a calore radiante (Tmax 250°C) (come proveniente da incendio in aree adiacenti compartimentate). L'attività sarà eseguita con risorse interne utilizzando (e collaudando) i riscaldatori piani acquistati nel corso del PAR 2016. al SOC 100%, rilevato con la full charge del caricabatterie. La prova verrà eseguita nell'impianto FARO (Figura 15 e Figura 16).

- E' in corso la fase preparatoria dell'esperimento, che non sarà possibile eseguire prima del 2019.

5. Prove di esposizione a fiamma dell'intera batteria, da eseguirsi con il personale dello SPI in impianto FARO. Dopo la carica completa della batteria, eseguita con il caricabatterie associato, verranno esposte a fiamma di propano utilizzando il sistema DETONAT presente nell'impianto FARO.

- La prova è subordinata alla disponibilità dello SPI e, comunque non verrà effettuata prima di gennaio 2019.

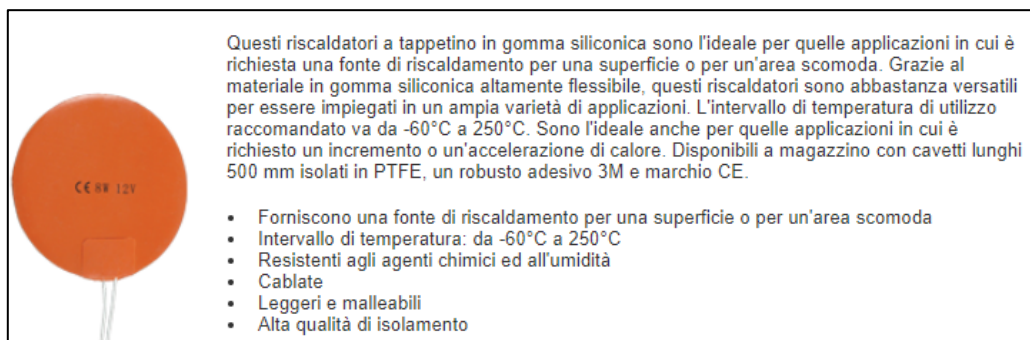


Figura 15. Riscaldatore a tappetino, diametro 100 mm – 12V/8W



Figura 16. Termoregolatore PID 1/32 DIN a doppio display Con interfaccia RS485

2.2 Controllo Radiografico tramite pannello Digitale (contributo di Angelo Tati)

Il controllo è stato eseguito mediante radiografia digitale.

La radiografia digitale permette la visione interna dell’oggetto in modo non invasivo. I raggi X, una radiazione elettromagnetica più energetica della luce visibile, attraversano gli oggetti evidenziando le non uniformità macrostrutturali e i difetti presenti all’interno del volume.

Nella lastra saldata è possibile evidenziare difetti interni come porosità e inclusioni.

Il sistema consta di una sorgente radiografica di tensione 160 KV e corrente 10 mA, di un rilevatore digitale della radiazione e un manipolatore porta campione, il tutto è contenuto in un bunker di protezione fino ad un massimo di 200 KV. Il rilevatore digitale converte la radiazione X, che attraversa il campione, in segnali elettrici. In tempo reale essi vengono inviati al computer per visualizzare l’immagine radiografica in toni di grigio.

Le gradazioni di grigio rappresentano l’assorbimento dei raggi proporzionale alla densità del campione attraversato. In nero gli oggetti più densi, inclusioni, in bianco le porosità.

La paletta dei toni di grigio dell'immagine radiografica è stata espansa tra il minimo e il massimo valore del pixel all'interno del rettangolo rosso.

E’ stata impiegata una Apparecchiatura ISOVOLT Titan E Series (Tabella 3). La macchina a raggi X serie ISOVOLT Titan E 160 KV utilizzata, offre miglioramenti significativi in termini di facilità di funzionamento, controllabilità e di logica di comando per consentire una maggiore produttività e affidabilità operativa. La macchina trova crescente applicazione nel soddisfare i requisiti di integrazione automatica per soluzioni CT dove la stabilità a lungo termine dei raggi X è necessaria, oltre ad essere utilizzata come macchina stand-alone di raggi X per radiografia convenzionale e digitale.

Tabella 3. Condizioni di prova

Equipment	Seifert ISOVOLT TITAN 160 M2 0.4-1.5	Max. Tube Voltage (kV)	160
Tube Current (mA)	10	Focal Spot Size EN 12 543 (mm)	3.00
Detector	Pixel 512 x 512	Modello	PerkinElmer
KV	90-120	mA	1.0
Campione	Batterie al Litio	Materiale	Litio

2.2.1 Documentazione fotografica

Le immagini seguenti documentano il posizionamento del pacco batterie rispetto ai raggi x incidenti (fondo, parte centrale e testa) (Figura 17) e i relativi risultati radiografici (Figura 18, Figura 19, Figura 20).



A) FONDO



B) PARTE CENTRALE



C) TESTA

Figura 17. Posizionamento della batteria rispetto alla sorgente radiogena

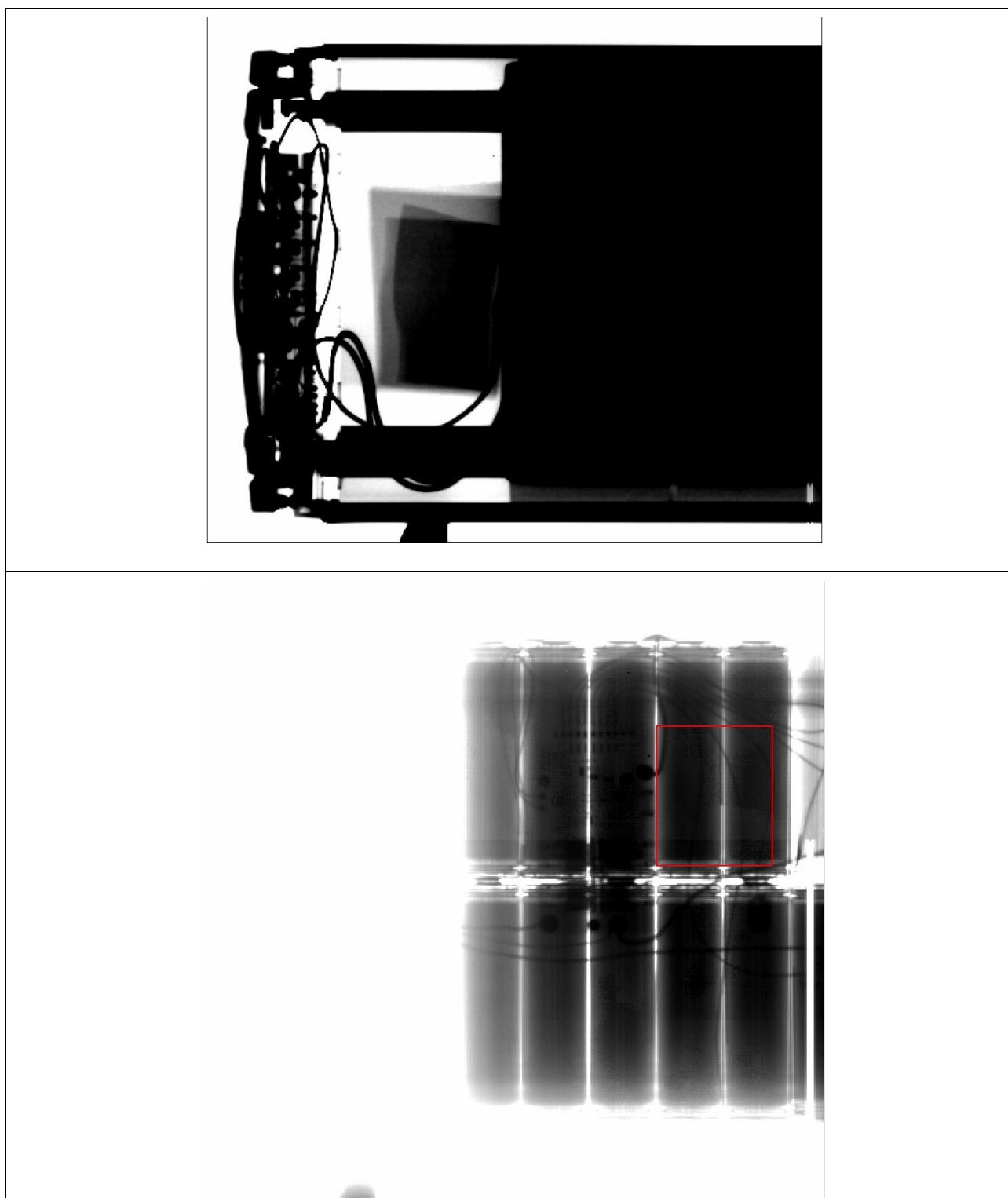


Figura 18. Fondo: luce, connettore di ricarica, indicatore di carica e prima parte del pacco batteria (vedi Figura 17 A)

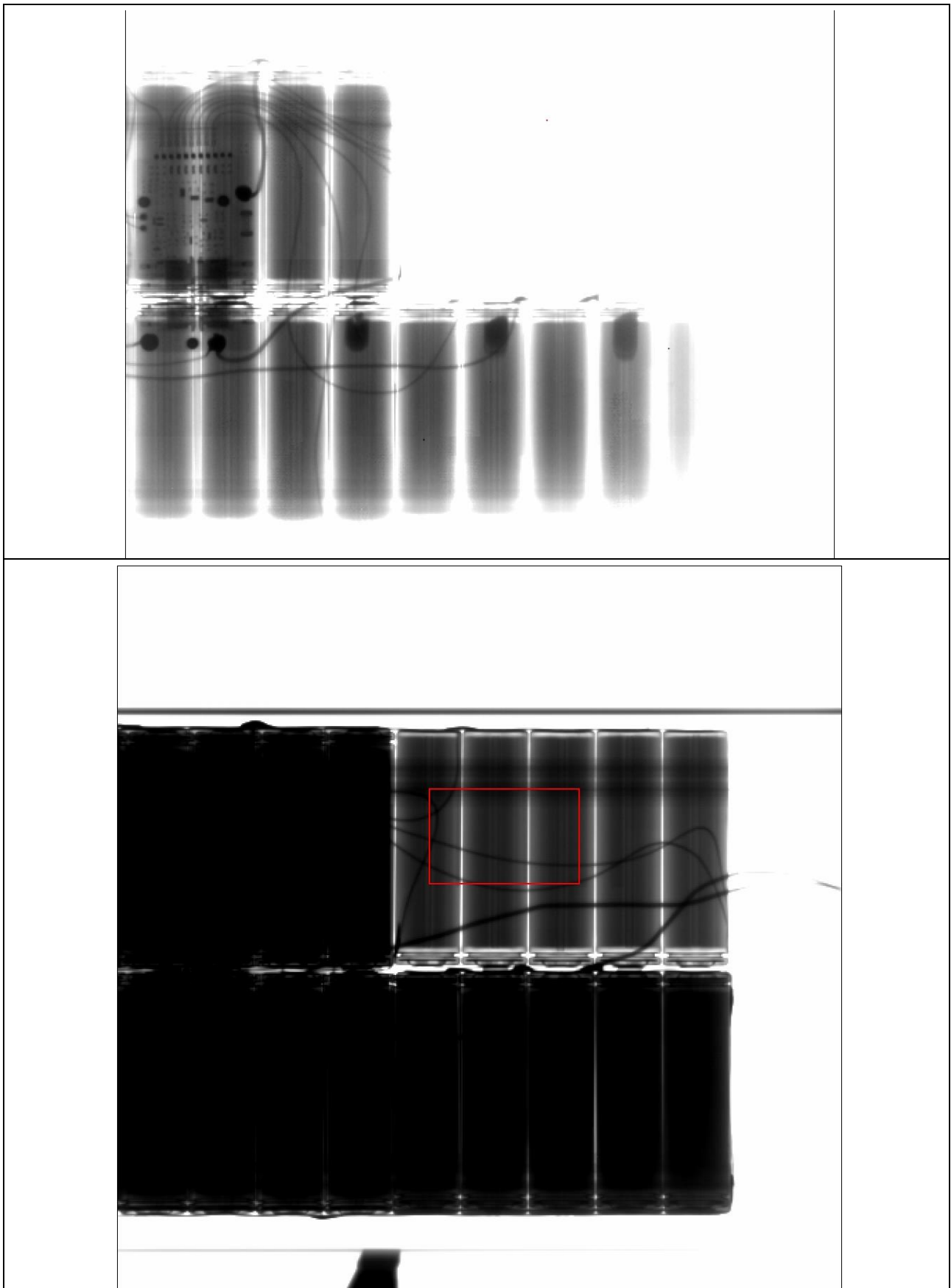


Figura 19. Parte centrale: sono visibili il circuito stampato e i cavi di collegamento (vedi Figura 17 B)

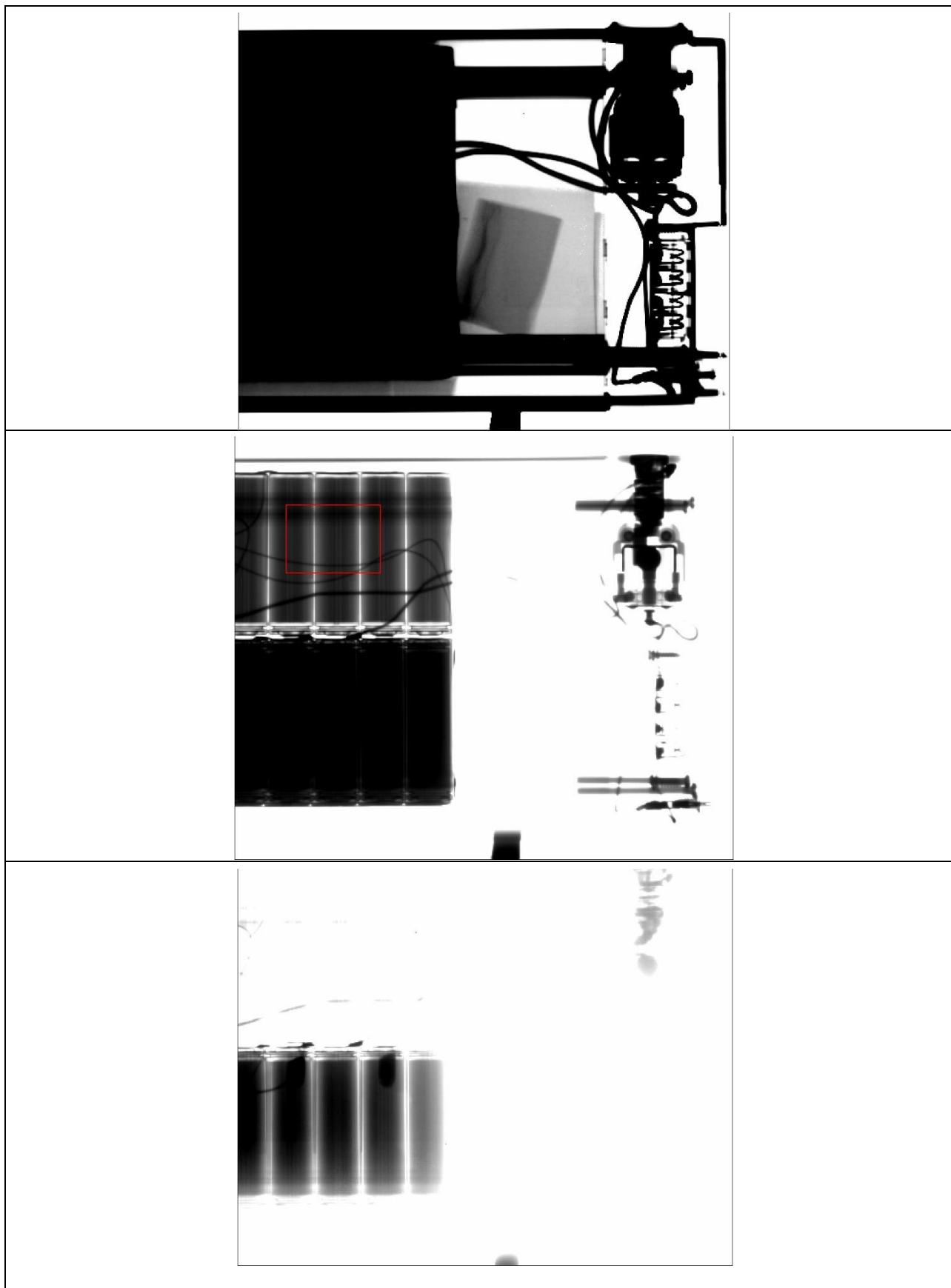


Figura 20. Testa. Connettore di potenza e chiave, parte finale del pacco batteria (vedi Figura 17 C)

3 Prove su celle Litio-ione cilindriche NCR 18650

Come è stato messo in evidenza lo scorso anno [10], le celle 18650 prodotte da Panasonic (18 mm di diametro e 65 mm di altezza), sono state la scelta in controtendenza, effettuata da Tesla (Figura 21) per la realizzazione dei veicoli elettrici attualmente in commercio. Sono celle molto versatili e mature, che riprendono la tecnologia Sony immesse in commercio già nel 1991: vengono utilizzate anche per la realizzazione di batterie per il pc portatili, in altri dispositivi destinati all'elettronica di consumo e per la realizzazione di pacchi batteria per le biciclette elettriche o per quelle a pedalata assistita.

In particolare [11] la Tesla S (Figura 22) è costituita da ben 444 celle e gli 85 kWh sono ottenuti con una configurazione del REESS come presentata nella figura successiva (Figura 23).

La particolare scelta effettuata dall'azienda automotive ha fatto schizzare in alto la produttività degli impianti Panasonic fino alla realizzazione, attualmente in corso, della cosiddetta GIGAFACTORY, realizzato negli Stati Uniti, che produrrà celle 21700, di 21 mm di diametro e 70 mm di altezza con un prezzo attuale di 80 \$ a kilowattora, per raggiungere il 75 \$ a kilowattora nel 2020.

Le celle 18.650 sono comunque considerate più sicure di altri tipi di celle, hanno una densità energetica che circa il 40% più alta, per unità di peso, delle celle più grandi, tra cui le celle a bustina e migliori performance tra cui un maggior numero di cicli di vita. Nel 2016 l'impianto di produzione giapponese ha prodotto 600 milioni di celle e le previsioni di Tesla erano l'acquisto di circa 1,86 bilioni di celle nel periodo 2014-2017.

Oltre alla enorme diffusione e all'utilizzo nel settore *automotive*, peraltro interessato anche da alcuni emblematici incidenti di cui si tratterà altrove, il nostro interesse verso le 18650 è dovuto anche all'interessante presenza di dati di letteratura sul comportamento ad abuso: **fattore molto importante per poter facilitare e gestire l'esperienza italiana sul comportamento ad abuso di batterie litio ione.**

3.1 Piano di prova e stato di avanzamento delle attività

Le celle da noi acquistate non sono esattamente quelle prodotte da Panasonic su commissione di Tesla o prelevate da una batteria auto, ma sono di capacità simile e della stessa chimica. In particolare, ci sono state vendute come Panasonic da un intermediario Belga, provengono da Hong Kong e non riportano il marchio Panasonic. Non hanno etichette stampigliate, ma adesive e rimovibili. Sono state consegnate in tre imballaggi del tipo mostrato in Figura 24. Le celle sono state fornite con documentazione tecnica (specifiche tecniche) e schede di sicurezza non congruenti e piuttosto confondibili. Una ricerca bibliografica ha consentito di reperire del materiale informativo prodotto da Panasonic e relativo a decine di siti produttivi sparsi per il mondo (Vedi Appendice 1). Dunque, l'apertura della cella, analisi chimica dei principali componenti, la caratterizzazione elettrica sono dei pilastri fondamentali per la messa a punto delle prove, per la loro ripetibilità e per l'interpretazione dei risultati.

Cell Maker	Chemistry	Capacity	Configuration	Voltage	Weight	Volume	Ener dens	Spec Ener	Used in:	
	Anode/Cathode	Ah		V	Kg	liter	Wh/liter	Wh/kg	Company	Model
AESC	G/LMO-NCA	40	Pouch	3.75	0.90	0.40	375	167	Nissan	Leaf
LG Chem	G/NMC-LMO	36	Pouch	3.75	0.86	0.49	275	157	Renault	Zoe
LG Chem	G/NMC	56	Pouch	3.65	1.1	0.52	393	186	Chevy	Bolt
Li Energy Japan	G/LMO-NMC	50	Prismatic	3.7	1.70	0.85	218	109	Mitsubishi	i-MEV
Samsung	G/NMC-LMO	94	Prismatic	3.65	2.00	1.10	312	172	Fiat	500
Toshiba	LTO-NMC	20	Prismatic	2.3	0.52	0.23	200	89	Honda	Fit
Panasonic	G/NCA	3.4	Cylindrical	3.6	0.047	0.018	691	260	Tesla	Model S

Figura 21. Produttori e tipologie di celle di più largo impiego nella industria EV. Fonte: TBC Consulting

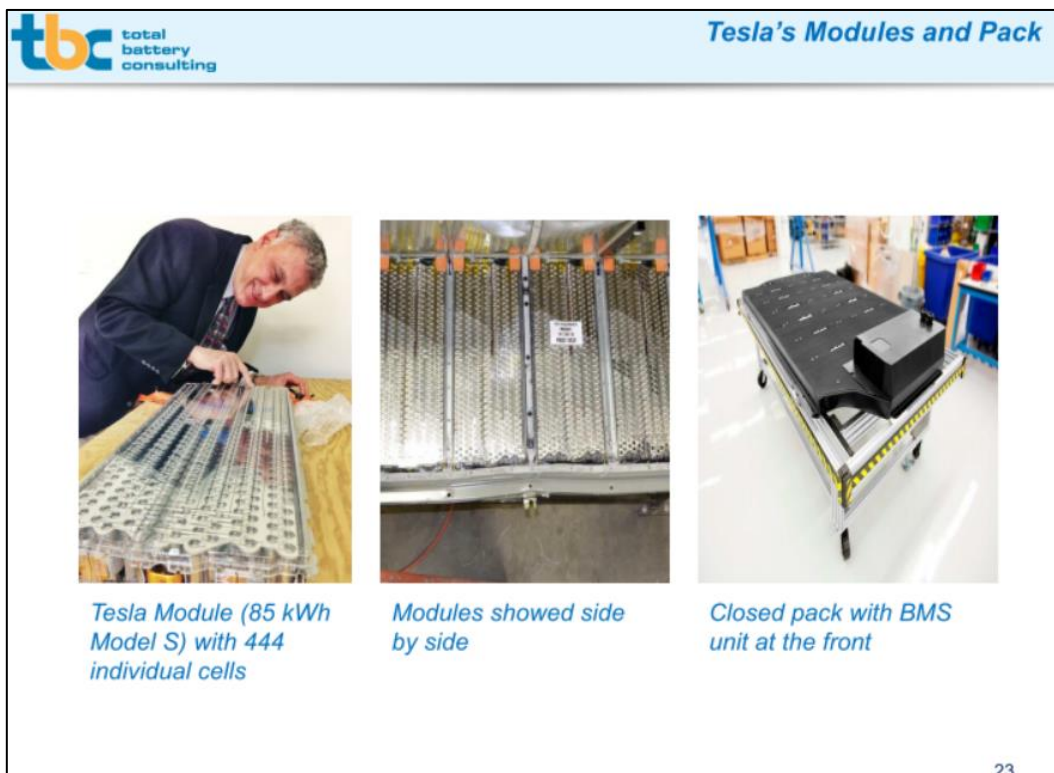


Figura 22. Immagine della batteria di una Tesla Model S. Fonte: TBC Consulting

tbc total battery consulting Tesla's 2013, 85-kWh Battery Breakdown

Tesla 85 kWh battery	Rated*	Actual**
Cell Capacity, Ah	3.25	3.1
Cell Voltage, V	3.68	3.63
Cell energy, Wh	11.96	11.25
Pack voltage, V	353	348
Pack capacity, Ah	241	229
Total # of cells in series in pack	96	96
# of modules per pack	16	16
# of cells in series per module	6	6
# of cells in parallel in module/pack	74	74
Total # of cells in module	444	444
Total # of cells	7104	7104
Battery Capacity, kWh	85	80
* Charged to 4.35 V per cell		
** Charged to 4.2V per cell		

Copyright © Total Battery Consulting

Figura 23. Struttura della batteria Tesla Model S. Fonte: Total Battery Consulting.



Figura 24. L'arrivo delle "Panasonic" 18650

3.1.1 Informazioni generali sulle celle

Le celle Panasonic 18650 B sono le batterie impiegate nella attuale (2015) generazione delle automobili Tesla model S e per questo hanno meritato la nostra attenzione.

La Panasonic 18650 B, con catodo a base di ossido litiato di nichel manganese cobalto e anodo in grafite, ha però numerosi cugini [13]. Ma non solo: anche numerosi e diversi stabilimenti di produzione (come si evidenzia nella allegata scheda di sicurezza). Ci sono delle leggere variazioni della chimica originale che producono leggere variazioni nella performance finale: la composizione percentuale degli elettroliti o il mix di additivi o piccole modifiche nelle forme, sono in grado di influenzare la vita o la capacità della cella, rendendo queste più adatte a diversi usi finali. Ad esempio, i documenti di specifica tecnica in nostro

possesso, si riferiscono all'uso specifico che ne farà il cliente finale. Con nostra sorpresa il documento relativo alle 18650 B fa riferimento all'impiego nei pc portatili. Si tratta di un mondo complesso nel quale l'interazione tra produttore e cliente finale è fondamentale. Nella Tabella 4 si riportano le tipologie di celle da noi acquistate e l'impiego previsto, insieme al peso dichiarato e al prezzo unitario. Le Figure successive mostrano le immagini delle celle sulle quali abbiamo lavorato (Figura 25, 26, 27, 28). In Appendice 1 si allega la scheda di sicurezza che c'è stata fornita dall'importatore e dalla quale si desumono le diverse tipologie e stabilimenti di produzione delle celle di tipo B, come anche di quelle di tipo C ed A con chimica diversa da quella di nostro interesse.

Uno stralcio significativo dei documenti di specifica tecnica viene fornito delle immagini successive (Figure 29, 30, 31, 32). In sintesi ecco le informazioni di partenza a nostra disposizione, ovvero le specifiche di acquisto delle celle 18650 B, B protette, BD e BE.

1. **Tipologia celle:** Panasonic 18650 B (protette e non protette: come protezione dovrebbe esserci un PTC); 18650 BD e 18650 BE non protette
2. **Chimica:** NCM (nichel cobalto manganese), come dichiarato nella SDS allegata, valida per le chimiche contraddistinte da A, B e C . Composizione chimica esatta non nota
3. **Forma fisica e riconoscibilità:** Assente marchio Panasonic, ma sono vendute, dal fornitore professionale, come Panasonic
 - a. NCR 18650 B protette: 3400mAh - 3,7V; verdi e confezionate in una pellicola (non so se sia da rimuovere...ma non mi è parso). Confezionate singolarmente in scatola di cartone
 - b. 18650 B non protette: c.s., ma non hanno la pellicola. Confezionate singolarmente in scatola di cartone e poi inserite in altra scatola da 2 unità
 - c. 18650 BD non protette: 3200 mAh – 3,7 V (stessa chimica); grigie. NOTA: non sono certa siano non protette...potrebbero essere la versione protetta delle BE.
 - d. 18650 BE non protette: 3200 mAh – 3,7V (stessa chimica); verdi
4. **MSDS** (Scheda di sicurezza) incompleta (Appendice 1 di questo RT);
5. **ST** (Specifiche tecniche) fornite dall'importatore su un formato caratteristico, destinato al cliente (Figura....)

Sigla cella	Peso unitario dichiarato (g)	Chimica	Prezzo unitario IVA esclusa (€)	Impiego previsto ²
NCR18650B Protected	48,5	Lithium nickel manganese cobalt oxide	7,42	Note PC
NCR18650B Unprotected	48,5	Lithium nickel manganese cobalt oxide	6,55	?
NCR18650BD unprotected	49	Lithium nickel manganese cobalt oxide	6,54	Pedelec
NCR18650BM unprotected	48,5	Lithium nickel manganese cobalt oxide	4,82	Automotive

Tabella 4. Caratteristiche delle celle 18650 NMC

² Come risulta dalle specifiche tecniche trovate in internet per le celle di tipo B, NMC:



Figura 25. NCR18650B Protected



Figura 26. NCR18650B Unprotected



Figura 27. NCR18650BD unprotected



Figura 28. NCR18650BM unprotected


File No. NCR18650-055	
Issue Date: 2012/3/27	
SANYO LITHIUM ION BATTERY SPECIFICATIONS	
BATTERY CLASSIFICATION <u>LITHIUM ION BATTERY</u>	
BATTERY TYPE <u>NCR18650B-H00HA</u>	
CLIENT 	
[The client's agreement]	
Signature: _____	
Name in block letters: _____	
Date: _____	
<small>*If there is no reply within 30 days after the delivery, This document shall be presumed valid.</small>	
Energy Company of Panasonic Group Energy Company, SANYO Electric Co., Ltd. Lithium-Ion Battery Business Unit Battery System Management Department PC Technical Service Group PC Business Development Team	
Dft.	<i>S. Hayashino</i>
Chk.	<i>H. Katsunoda</i>
Chk.	<i>X. Kobayashi</i>

Figura 29. Esempio di frontespizio del documento di Specifica tecnica

4. Battery Classification and Type

- 4.1 Battery Classification SANYO Lithium Ion Battery
 4.2 Battery Type NCR18650B-H00HA
 (This model is controlled by Wassenaar Arrangement.)

5. Nominal Specifications

Items	Specifications	Notes
5.1 Rated Capacity (Minimum)	3200mAh	0.65A discharge at 20°C
5.2 Nominal Capacity (Minimum)	3250mAh	0.65A discharge at 25°C
5.3 Nominal Capacity (Typical)	3350mAh	Reference only
5.4 Nominal Voltage	3.6V	0.65A discharge
5.5 Discharging End Voltage	2.5V	
5.6 Charging Current (Std.)	1.62A	
5.7 Charging Voltage	4.20 ± 0.03V	
5.8 Charging Time (Std.)	4.0 hours	
5.9 Continuous Discharging Current (Max.) ^{※1}	4.87A	0 ~ +40°C
5.10 Internal Resistance	less than 100mΩ	AC Impedance 1 kHz
5.11 Weight	less than 48.5g	
5.12 Operating Temperature	Charge	0 ~ +40°C
	Discharge	-20 ~ +60°C
5.13 Storing Conditions	less than 1 month	-20 ~ +50°C
	less than 3 months	-20 ~ +45°C
	less than 1 year	-20 ~ +20°C
		Percentage of recoverable capacity 80% ^{※2}

※1 The maximum discharge current for a single cell use. However after the battery pack assembly, there will be a limitation of maximum discharge current due to a protection circuit or a protection device.

※2 Percentage of recoverable capacity
 = (Discharging time after storage / Initial discharging time) × 100
 The discharging time is measured by the discharge current of 0.65A until 2.5V of end voltage after the battery is fully charged at 25°C.

File No	NCR18650-055	Energy Company, SANYO Electric Co., Ltd. Lithium-Ion Battery Business Unit Battery System Management Department
---------	--------------	---

Figura 30. Specifiche tecniche delle NCR 18650 B protette e non protette

motor cycle (except electric power-assisted bicycle), this specification shall not be applied.

4. Battery Classification and Product Code and Model Name

- 4.1 Battery Classification Lithium Ion Battery
- 4.2 Product Code
- 4.3 Model Name NCR18650BD
- 4.4 Cell Type NCR18650BD

This model is not controlled under Wassenaar Arrangement because of the relaxation for criterion. However, some of the countries have not amended the laws and/or regulations. Please make sure to confirm with the governmental authorities of the relevant countries for further detail.

5. Nominal Specifications

Items		Specifications	Notes
5.1	Rated Capacity	3000 mAh	0.61A discharge at 20°C
5.2	Capacity	Minimum*1	3080 mAh
		Typical	3180 mAh
			Reference only 0.61A discharge at 25°C
5.3	Nominal Voltage	3.60V	0.61A discharge at 25°C
5.4	Discharging End Voltage	2.5V	
5.5	Charging Current (Std.)	0.9A	Max.1.5A
5.6	Charging Voltage	4.20 ± 0.03V	
5.7	Charging Time (Std.)	8.0 hours	
5.8	Continuous Discharging Current (Max.) *2*3	10A	0 ~ +40°C
5.9	Internal Resistance	less than 35mΩ	AC Impedance 1 kHz
5.10	Weight	less than 49g	
5.11	Operating Temperature	Charge	10 ~ +45°C*6
		Discharge	-20 ~ +60°C
5.12	Storing Conditions	less than 1 month	-20 ~ +50°C
		less than 3 months	-20 ~ +40°C
		less than 1 year	-20 ~ +20°C
			Percentage of recoverable capacity 80%*4

*1 Capacity is measured by the discharge at 0.61A until end voltage of 2.5V after fully charged at 25°C as described in the specification.

*2 Discharge at high rate or high temperature environment will accelerate the degradation of the battery capacity. As a result, battery life will be shorten.

*3 The maximum discharge current for a single cell use. However after the battery pack assembly , there will be a limitation of maximum discharge current due to a protection circuit or a protection device.

*4 Percentage of recoverable capacity
= (Discharging time after storage / Initial discharging time) ×100

The discharging time is measured by the discharge current of 0.61A until 2.5V of end voltage after the battery is fully charged at 25°C.

Figura 31. Specifiche tecniche NCR18650 BD

4 Battery Classification and Product Code

4.1	Battery Classification	Lithium Ion Battery
4.2	Product Code	
4.3	Model Name	NCR18650B
4.4	Cell Type	NCR18650BM

5 Nominal Specifications

Item		Specifications	Notes
5.1	Rated Capacity	2980mAh	0.596A discharge at 20°C
5.2	Capacity (Minimum)	3030mAh	0.606A discharge at 25°C
5.3	Capacity (Typical)	3180mAh	Reference only
5.4	Nominal Voltage	3.6V	0.606A discharge
5.5	Discharging End Voltage	2.5V	
5.6	Charging Current (Std.)	0.909A	
5.7	Charging Voltage	4.20 ± 0.03V	
5.8	Charging Time (Std.)	5.0 hours	
5.9	Continuous Discharge Current (Max.) *1	3.636A	0 ~ +40°C
5.10	Internal Resistance	less than 100mΩ	AC impedance 1 kHz
5.11	Weight	less than 49.5g	
5.12	Operating Temperature	Charge	+10 ~ +45°C
		Discharge	-20 ~ +60°C
5.13	Storage Conditions (Shipping Charge State)	less than 1 month	-20 ~ +50°C
		less than 3 months	-20 ~ +40°C
		less than 1 year	-20 ~ +20°C
		Recoverable Capacity: 80%*2	

*1 The maximum discharge current for a single cell use. However after the battery pack assembly, maximum discharge current will be limited by a protection circuit or device.

$$*2 \text{ Recoverable Capacity} = \frac{\text{Discharge Time after Storage}}{\text{Initial Discharge Time}} * 100$$

The discharge time is measured by fully charging the battery at 25°C and then discharging it at a current of 0.606A to 2.5V per cell in series.

File No.	NCR18650	Rechargeable Battery Business Division, SANYO Electric Co., Ltd.
----------	----------	---

Figura 32. Specifiche Tecniche NCR 18650 BM

3.1.2 Prove, preparazione e procedure

Di seguito si presenta il piano di prova e il suo stato di avanzamento (Tabella 5)³. A tutti gli esperti sono state fornite le celle accompagnate dalle Specifiche Tecniche, dalla scheda di sicurezza resa disponibile dall'importatore, altre informazioni di utilità pratica.

1. **Caratterizzazione chimico fisica** (Bacaloni – UniRoma 1): viene effettuata sulle celle vergini. I dati saranno confrontati con l'analisi dei gas e dei residui solidi provenienti dalle prove al calorimetro a cono, previo accordo con Russo e Mazzaro.
2. **Radiografia con Raggi X** per esame interno non distruttivo (Tati - ENEA), finalizzato alla verifica della presenza di: elettronica di controllo, dispositivo di sfogo, dispositivi di sicurezza. Verifica della potenzialità dell'*imaging X*. Effettuato su celle vergini
3. **Caratterizzazione elettrica** (Sglavo - ENEA), finalizzata alla conoscenza delle caratteristiche prestazionali, della verifica dei limiti della "finestra Operativa" (tensione corrispondente al 100% SOC) con monitoraggio con Termocamera e , se possibile, verifica/determinazione valore di resistenza interna
4. **Calorimetria a cono** (Russo- UniRoma1 e Mazzaro - CNVVF): su celle vergini e su celle del tipo B non protette e sottoposte, in via preliminare, a n. 5 cicli standard di Formazione (Sglavo). Le celle potranno poi essere caricate a vari stati di SOC, a Capannelle. Utilizzando le apparecchiature portatili di cui si è dotato quest'anno il nostro laboratorio.
5. **Esposizione a calore radiante** (fino a 400 °C) (Mazzaro – CNVVF)

Tabella 5. Piano di prova e stato di avanzamento

		Attività previste	Stato di avanzamento
1	Bacaloni (UniRoma1)	Caratterizzazione chimica. Analisi gas e residui dopo prove in calorimetro a cono (coordinamento con prof.ssa Russo)	Rif.: Paragrafo 3.3 di questo RT
2	Tati (ENEA)	Celle vergini: RX per verifica presenza PTC e struttura interna	Rif.: Paragrafo 3.2 di questo RT
3	Sglavo (ENEA)	Caratterizzazione prestazioni + cicli di formazione e carica al 100% SOC (destinate a calorimetria a cono)	Rif. : Paragrafo 3.4 di questo RT
4	Russo (UniRoma1 e CNVVF)	Celle vergini: Calorimetria a cono ed esposizione fiamma	Rif. Paragrafo 3.6 di questo RT
4 bis		Celle formate: Calorimetria a cono ed esposizione fiamma	Previste nel corso del 2019
5	Mazzaro (CNVVF)	Celle cariche: Esposizione a calore radiante	Rif.: Paragrafo 3.5 di questo RT

³ Si **sottolinea** che il piano di prova ha richiesto il coinvolgimento degli enti esterni indicati, dopo adeguata formazione sul tema specifico della sicurezza dei sistemi di accumulo Litio-ione, che è stata possibile grazie agli studi preliminari alle sperimentazioni effettuati in ENEA. Il partenariato si è rivelato fondamentale per il proseguimento degli studi e per il loro sviluppo in corso. I finanziamenti del MISE, tramite la Ricerca di Sistema Elettrico sono stati **fondamentali** per iniziare la realizzazione di una rete italiana sulla sicurezza dei sistemi di accumulo Litio-ione, nell'accumulo stazionario e nella elettromobilità.

3.2 Controllo Radiografico tramite pannello Digitale (Angelo Tati)

Lo scopo di questo controllo è duplice: esplorare le potenzialità del controllo radiografico su sistemi di accumulo e verificare la tipologia di dispositivo di protezione presente nelle celle protette.

In Tabella 6, le conclusioni tratte da una prima osservazione delle radiografie. Nel corso dell'apertura delle celle per le analisi chimiche ex ante, ci aspettiamo di comprendere meglio la tipologia di protezione presente a bordo della cella 18650B protetta.

Tabella 6

Batterie	Risultati
ncr 18650B protetta	La parte bassa della batteria presenta un vuoto prima del fondo
ncr 18650B non protetta	La parte bassa della batteria non presentano nessun vuoto prima del fondo
ncr 18650 BD non protetta	
ncr 18650 BM non protetta	

3.2.1 Radiografia digitale

La radiografia digitale permette la visione interna dell'oggetto in modo non invasivo. I raggi X, una radiazione elettromagnetica più energetica della luce visibile, attraversano gli oggetti evidenziando le non uniformità macrostrutturali e i difetti presenti all'interno del volume.

Nella lastra saldata è possibile evidenziare difetti interni come porosità e inclusioni.

Il sistema consta di una sorgente radiografica di tensione 160 KV e corrente 10 mA, di un rilevatore digitale della radiazione e un manipolatore porta campione, il tutto è contenuto in un bunker di protezione fino ad un massimo di 200 KV. Il rilevatore digitale converte la radiazione X, che attraversa il campione, in segnali elettrici. In tempo reale essi vengono inviati al computer per visualizzare l'immagine radiografica in toni di grigio. Le gradazioni di grigio rappresentano l'assorbimento dei raggi proporzionale alla densità del campione attraversato. In nero gli oggetti più densi, inclusioni, in bianco le porosità.

La paletta dei toni di grigio dell'immagine radiografica è stata espansa tra il minimo e il massimo valore del pixel all'interno del rettangolo rosso.

E' stata impiegata una Apparecchiatura ISOVOLT Titan E Series, nelle condizioni operative presentate in tabella (Tabella 7). La macchina a raggi X serie ISOVOLT Titan E 160 KV utilizzata, offre miglioramenti significativi in termini di facilità di funzionamento, controllabilità e di logica di comando per consentire una maggiore produttività e affidabilità operativa. La macchina trova crescente applicazione nel soddisfare i requisiti di integrazione automatica per soluzioni CT dove la stabilità a lungo termine dei raggi X è necessaria, oltre ad essere utilizzata come macchina stand-alone di raggi X per radiografia convenzionale e digitale.

In Figura 23 sono presentati i campioni come arrivati nel Laboratorio Raggi X.

Tabella 7.

Equipment	Seifert ISOVOLT TITAN 160 M2 0.4-1.5	Max. Tube Voltage (kV)	160
Tube Current (mA)	10	Focal Spot Size EN 12 543 (mm)	3.00
Detector	Pixel 512 x 512	Modello	PerkinElmer
KV	90	mA	1.0
Campione	Batterie al Litio	Materiale	Litio



Figura 33- I campioni inviati al Laboratorio Raggi X

3.2.2 Documentazione fotografica dei risultati

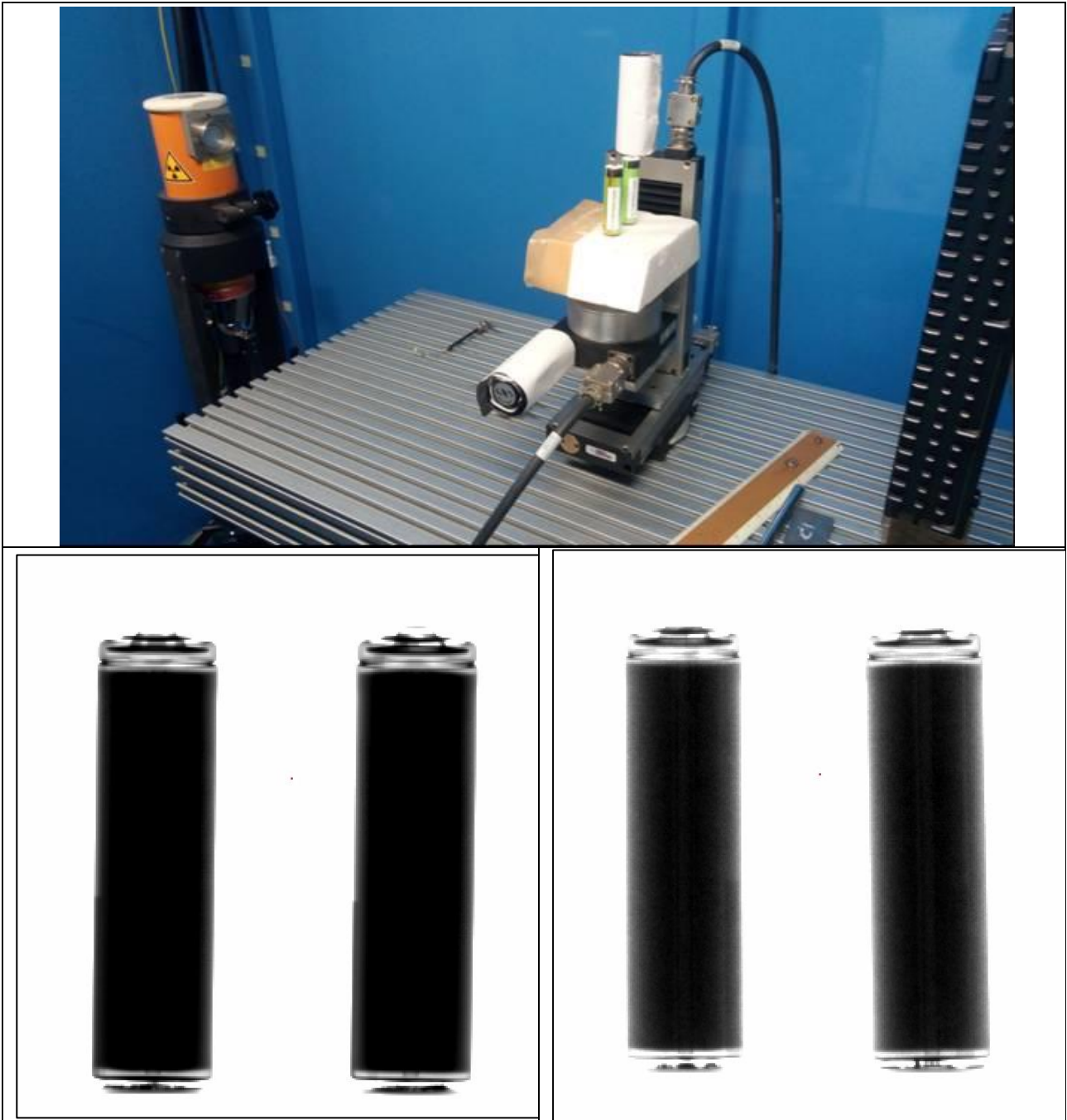


Figura 34. Panasonic 18650B protetta. A sinistra: 90 KV, 1mA. A destra: 90 KV, 1mA e 90°



Figura 35. Panasonic 18650B NON protetta; 90 KV, 1mA

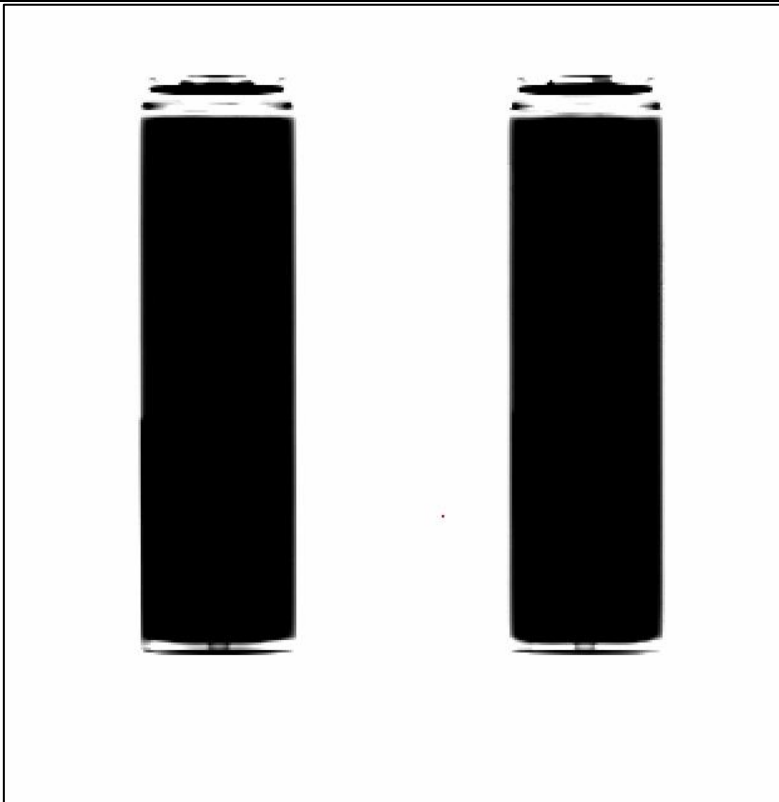


Figura 36. PANASONIC 18650 BD non protetta. 90 KV 1mA



Figura 37. PANASONIC 18650 BM non protetta. 90 KV 1mA 4

3.3 Caratterizzazione chimico fisica ex ante e ex-post

Si veda il RT *“Sistemi di accumulo Litio-ione di interesse automotive: studio sulla caratterizzazione chimico-analitica di sistemi Litio – ione, ex ante ed ex post prove di simulazione di incidenti”* redatto dal prof. Alessandro Bacaloni e dalla dott.ssa Susanna Insogna al termine dell’Accordo di Collaborazione stipulato tra ENEA e Dipartimento di Chimica dell’Università “Sapienza” di Roma.

Questa attività consiste nella analisi chimica delle celle sottoposte a prova, prima e dopo la prova di abuso. In mancanza dei dati di composizione chimica forniti dal produttore, anche solo per quanto riguarda i materiali attivi (come porterebbero essere presenti in una Scheda di Sicurezza redatta secondo le norme vigenti in materia di classificazione ed etichettatura dei prodotti pericolosi – regolamento REACH e Regolamento CLP – o di norme specifiche, attualmente inesistenti), la messa a punto delle tecniche di apertura delle celle (cilindriche, prismatiche o a bustina) e delle tecniche di analisi chimica dei componenti attivi, risultano fondamentali per: la corretta interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove previste in questo lavoro; la messa a punto delle tecniche di intervento di emergenza; la messa a punto di corrette metodologie di prova per la identificazione delle della tolleranza ad abuso che prevedano, tra l’altro, la riproducibilità dei risultati; il confronto tra diverse “marche” al fine di una progettazione più accurata dei sistemi di accumulo destinati sia ai veicoli elettrici che ad altre apparecchiature; la possibilità, attraverso una analisi *ex-post*, di identificare le emissioni e i prodotti solidi residuali, le conseguenti misure di protezione da adottare in caso di emergenza, sia per gli operatori che per gli utilizzatori, le cause di guasto.

In particolare, verrà impiegata – tra le altre tecniche – la tecnica SEM - *Scansion Electron Microscope* - che fornisce informazioni sulla morfologia, sulla natura chimica e sulle proprietà di superficie e degli strati sottostanti di campioni solitamente solido, equipaggiata con sonda EDS - *Energy Dispersive X-ray Spectrometry*.

Nel caso specifico delle celle tipo Panasonic in esame, la caratterizzazione *ex-post* è stata effettuata sui residui provenienti dalle prove di Calorimetria a Cono effettuate sulle 18650 B (protette e non protette). I risultati saranno presentati nel RT citato all’inizio del paragrafo.

3.4 Caratterizzazione elettrica e formazione (Vincenzo Sglavo)

La caratterizzazione elettrica è stata effettuata, dopo effettuazione dei cicli di formazione, al fine di verificare:

- le specifiche tecniche fornite dall'importatore
- eventuali comportamenti anomali durante le fasi di carica e scarica, incluso il riscaldamento

Inoltre, i cicli standard di formazione che attivano correttamente la chimica di cella, si sono resi necessari per la preparazione di campioni destinati ad una seconda *tranche* di test al calorimetro a cono da effettuarsi nel 2019 per verificare la possibilità di mettere a punto una procedura di prova standardizzata.

I cicli standard di formazione sono così realizzati [14]:

- Scarica a C/2.
- Pausa 1 ora.
- Carica: prima fase di carica a corrente costante di valore C/2 fino al raggiungimento della tensione 4,15V, seconda fase di carica a tensione costante e corrente decrescente fino al valore di 0,5A.
- Pausa 1 ora. La formazione elettrica si considera terminata quando la capacità di scarica relativa a due scariche consecutive non varia più del 3% del valore della capacità nominale. In generale, per il raggiungimento di tale condizione sono sufficienti dai tre ai cinque cicli di formazione.

3.4.1 Identificazione e descrizione delle batterie in prova

Tipologia delle celle in prova, Panasonic 18650, chimica NCM (nicel cobalto manganese).

I Modelli in prova sono 4, di cui uno protetto con le seguenti caratteristiche scritte sulle etichette:

- a) NCR 18650 B protette: 3,4 Ah - 3,7V;
- b) NCR 18650 B non protette: 3,4 Ah - 3,7V;
- c) NCR 18650 BM non protette: 3,2 Ah - 3,7V
- d) NCR 18650 BD non protette: 3,2 Ah - 3,7V;

Sono stati consegnati almeno 12 campioni di ciascun Modello di cella. Ogni cella è stata sottoposta ad ispezione visiva per la verifica della integrità e a misura della tensione.

I cicli di formazione, necessari per stabilizzare le caratteristiche prestazionali, sono stati effettuati su gruppi di 4 celle per ogni modello e su tutte le celle disponibili.

Per ogni modello sono state prelevate 4 celle sulle quali sono stati effettuati i test di caratterizzazione, ripetuti per due volte.

3.4.2 Caratterizzazione elettrica

La caratterizzazione elettrica è stata effettuata eseguendo:

- una **prima prova** nella sequenza di cariche e scariche complete, per determinare il valore della capacità della cella a diverse condizioni di prova, cioè per ogni carica/scarica della cella si varia la corrente di scarica e si rileva il valore della capacità, le scariche vengono eseguite a corrente costante.
- una **seconda prova** si fa una misura della resistenza della cella sia in carica che in scarica.

Le prove di scarica a corrente costante hanno i seguenti parametri rispetto al valore della capacità.

- **C/2**; scarica a corrente costante di valore di ½ rispetto alla capacità (1.6 A), la durata della scarica è di circa 2 ore
- **1C**; scarica a corrente costante di valore uguale alla capacità(3.2 A), la durata della scarica è di circa 1 ora
- **1,5C**; scarica a corrente costante di valore 1,5 volte la capacità(4.8 A), la durata della scarica è di circa 40 min (2/3 h)

Le prove descritte sono state ripetute 2 volte su ogni campione e il valore riportato nelle tabelle successive, è dato dalla media dei due valori rilevati.

I risultati delle misure sono presentati nelle tabelle seguenti (Tabella 8, 9, 10, 11)

3.4.3 Verifica delle caratteristiche delle celle rispetto ai parametri dichiarati dal costruttore

La cella NCR 18650 B protetta, dichiara una tensione nominale di 3,6V, e una capacità di 3,4 Ah con corrente di scarica di 0.65A cioè scarica a 5 ore, e una corrente massima di scarica di 4.87A che corrisponde a circa 1.5 la capacità della cella.

La cella NCR 18650 B non protetta, dichiara una tensione nominale di 3,6V, e una capacità di 3,2 Ah con corrente di scarica di 0.61A cioè scarica a 5 ore, e una corrente massima di scarica di 10A che corrisponde a circa 3 volte la capacità della cella.

La cella NCR 18650 BM non protetta, dichiara una tensione nominale di 3,6V, e una capacità di 3,2 Ah con corrente di scarica di 0.61A cioè scarica a 5 ore, e una corrente massima di scarica di 3.64A che corrisponde a poco più della capacità della cella.

La cella NCR 18650 BD non protetta, dichiara una tensione nominale di 3,6V, e una capacità di 3,2 Ah con corrente di scarica di 0.61A cioè scarica a 5 ore, e una corrente massima di scarica di 10A che corrisponde a circa 3 volte la capacità della cella.

NCR 18650 B protetta				
	N°1	N°2	N°3	N°4
Ah Dichiarati	3.4			
C/2 (Ah)	3.36	3.38	3.34	3.31
1C (Ah)	3.03	3.16	3.06	3.09
1.5C (Ah)	2.23	3.01	2.76	2.90
Corrente Max	4.87 A			

Tabella 8. Caratterizzazione elettrica NCR 18650 B protetta

NCR 18650 B non protetta				
	N°1	N°2	N°3	N°4
Ah Dichiarati	3.4			
C/2 (Ah)	3.41	3.33	3.35	3.34
1C (Ah)	3.14	3.11	3.14	3.11
1.5C (Ah)	0.10	2.48*	2.96	2.97
Corrente Max	10.0 A			
	* Valore rilevato su una sola prova			

Tabella 9. Caratterizzazione elettrica NCR 18650 B non protetta

NCR 18650 BM non protetta				
	N°1	N°2	N°3	N°4
Ah Dichiarati	3.2			
C/2 (Ah)	3.21	3.11	3.23	3.18
1C (Ah)	3.00	2.85	3.03	2.95
1.5C (Ah)	2.69	0.11	2.95	2.60
Corrente Max	3.64 A			

Tabella 10. Caratterizzazione elettrica NCR 18650 BM

	NCR 18650 BD non protetta			
	N°1	N°2	N°3	N°4
Ah Dichiarati	3.2			
C/2 (Ah)	3.25	3.34	3.24	3.26
1C (Ah)	2.90	3.14	3.00	3.05
1.5C (Ah)	1.7*	3.02	2.66	2.94
Corrente Max	10.0 A			
	* Valore rilevato su una sola prova			

Tabella 11. Caratterizzazione elettrica NCR 18650 BD

Da una prima analisi sulle caratteristiche delle celle si evince che hanno prestazioni praticamente simili, semmai se c'è differenza di prestazione la si trova all'interno dello stesso tipo di cella e lo si ritrova soprattutto nel caso che la corrente di scarica è più alta ed in particolare con la scarica 1.5C cioè con corrente 4.8A.

L'altro parametro importante dichiarato dal costruttore era la corrente massima che la cella avrebbe dovuto fornire per tutta la durata della scarica, ed abbiamo 2 modelli che dichiarano un valore limitato cioè 4.87A e 3.64A e 2 modelli che invece dichiarano una corrente massima di funzionamento di 10A.

La prima considerazione è che le celle alla corrente massima 1.5C(4.8A) si comportano praticamente allo stesso modo, nel caso delle prime 2 è giustificato perché siamo o alla corrente limite o addirittura la superiamo, in questo caso è accettabile che ci siano alcune celle che non riescono a completare la scarica anzi nel caso della cella 18650 BM avendo dichiarato la corrente massima 3.64A, il risultato è superiore al dichiarato visto che 3 celle su 4 danno un valore di capacità compatibile con le scariche precedenti. Invece per le celle 18650B e 18650 BD entrambe non protette, avendo dichiarato 10A di corrente massima di funzionamento non avrebbero dovuto avere nessun problema per le scariche a 4.8A, invece abbiamo che in un caso (18650BD) solo 3 celle su 4 sono soddisfacenti, mentre nel caso della cella 18650B abbiamo che solo 2 su 4 soddisfano le prestazioni aspettate, le altre due una non le soddisfa per niente ed un'altra riesce a dare un valore di capacità appena sufficiente solo su una prova.

3.4.4 Analisi del comportamento delle celle a diverse condizioni di prova.

Per semplicità di elaborazione l'analisi sul comportamento della cella viene fatto per singolo tipo di cella e prendiamo in considerazione sia la tipo **B protetta** (Tabella 12) che la tipo **BD non protetta** (Tabella 13). Nell'analisi che segue oltre a prendere in considerazione il valore di capacità a diverse correnti di scarica, valutiamo il comportamento durante il processo di scarica con la misurazione della temperatura (il valore riportato in tabella è quello di fine scarica ed è anche il massimo rilevato), che viene misurata sulla fiancata cilindrica della cella stessa, inoltre sulle stesse celle è stata eseguita una prova di resistenza interna e ne riportiamo il valore medio nella fase di scarica (procedura fatta a step del 10% DOD con prova successiva a quelle di capacità).

	NCR 18650 B protetta							
Cella N°	N°1		N°2		N°3		N°4	
	Cap(Ah)	Temp(°C)	Cap(Ah)	Temp(°C)	Cap(Ah)	Temp(°C)	Cap(Ah)	Temp(°C)
C/2 (1.6A)	3.36	37.6	3.38	32.7	3.34	34.7	3.31	31.9
1C (3.2A)	3.03	47.3	3.16	42.0	3.06	44.2	3.09	40.2
1.5C (4.8A)	2.23	56.1	3.01	51.7	2.76	52.6	2.90	49.1
Rlmed Sc(Ohm)	0.204		0.131		0.161		0.143	

Tabella 12

La prima cella che esamineremo è la “NCR 18650 B protetta”, nella tabella sopra sono riportati tutti i dati rilevati sperimentalmente. Come abbiamo visto già nell’analisi precedente si vede che all’aumentare della corrente di scarica diminuisce la capacità, inoltre rileviamo che all’aumentare della corrente di scarica si ha un sensibile aumento della temperatura della cella e nei test delle 4 celle tale andamento non è simile e si notano differenze abbastanza sensibili tra una cella e l’altra, e il risultato di una maggiore temperatura sulla cella si può rilevare anche dai valori della resistenza interna, dove quelle che si scaldano di più hanno un valore maggiore.

Nel secondo tipo di cella esaminato “NCR 18650 BD non protetta” possiamo fare le stesse considerazioni nell’interazione tra corrente di scarica e temperatura raggiunta dalla cella a fine scarica, e in più possiamo rilevare che nella cella N°1 si è quasi raggiunto il limite di temperatura e inoltre la capacità misurata è sensibilmente inferiore al valore aspettato, poi c’è da evidenziare che il dato è stato rilevato in una sola scarica nell’altra scarica la cella è andata subito in crisi senza dare una capacità compatibile con quella rilevata nella prima prova.

NCR 18650 BD non protetta								
Cella N°	N°1		N°2		N°3		N°4	
	Cap(Ah)	Temp(°C)	Cap(Ah)	Temp(°C)	Cap(Ah)	Temp(°C)	Cap(Ah)	Temp(°C)
C/2 (1.6A)	3.25	37.4	3.34	35.4	3.24	31.2	3.26	31.5
1C (3.2A)	2.90	49.5	3.14	42.9	3.00	41.5	3.05	41.0
1.5C (4.8A)	1.7*	59.5	3.02	50.8	2.66	51.1	2.94	49.9
RImed Sc (Ohm)	0.271		0.124		0.169		0.127	

Tabella 13

Il comportamento abbastanza negativo della cella numero 1 si può rilevare anche dal valore della resistenza interna dove abbiamo che esso si discosta sensibilmente dai valori delle altre celle (N°1=0.271Ohm; N° 2-4 tra 0.124 e 0.169 Ohm) e questo giustifica la minore prestazione di questa cella.

3.5 Prove di abuso termico ed immersione in acqua (Michele Mazzaro, Luciano Bottà e Marco Teoli – CNVVF – NIA)

Le prove sono state eseguite con l'obiettivo di verificare la risposta delle batterie ioni-litio ad un forte irraggiamento termico, ed il comportamento delle stesse singolarmente ed in blocchi multipli, oltre a rilevare i tempi necessari a attivare i fenomeni collegati all'abuso termico ed immersione in acqua. Le prove sono state condotte su celle Panasonic 18650 BD e 18650 BM.

L'abuso termico è stato generato con 2 metodi:

1. tramite cono calorimetrico,
2. tramite piastra riscaldante;

e sono state effettuate variando condizioni di carica e di esposizione.

L'immersione in acqua è stata effettuata in 2 situazioni:

1. acqua salata
2. acqua dolce

3.5.1 Prove al cono calorimetro su celle Li-ione del 26/03/2018

OGGETTO: Prove su celle Li-ione NCR 18650 BM non protette (3200 mAh, 3.7 V) mediante calorimetro a cono ISO 5660 modello NOSELAB.

Il 26 marzo 2018 sono state svolte quattro prove su altrettante celle scariche (Tensione misurata pari a 3.5 V). Esse sono state inizialmente denominate con la numerazione da 1 a 4 e rispettivamente pesate.

La singola batteria è stata poggiata su un porta-campione del peso di 411 grammi a cui le è stata applicata una termocoppia di tipo "k" per valutare la temperatura superficiale del campione.

In seguito si è preceduto ad analizzare singolarmente il comportamento di ciascuna batteria sottoponendola tramite cono calorimetro a diversi valori di flusso termico (ottenuto impostando fissati valori di temperatura ottenuti mediante precedente taratura con un radiometro).

Si è andati a valutare: la temperatura e il tempo nel quale si innescano le reazioni di runaway, la massima temperatura raggiunta dal campione e il peso finale delle singole celle.

PROVA 1:

Irraggiamento	10 KW/m ²
Temperatura del calorimetro a cono	400° C
Velocità di aspirazione	11.2 g/s
Temperatura superficiale iniziale del campione	25.6° C
Peso iniziale del campione	47.32 g

Tabella 14

La distanza tra il porta-campione e il cono del calorimetro viene portata fino a 2.5 cm dopo alcuni istanti dall'inizio della prova. La cella è stata irradiata con un flusso termico costante pari a 10 KW/m² e la sua temperatura superficiale è iniziata ad aumentare lentamente da un valore iniziale di circa 45°C. Dopo 900 secondi è stata raggiunta la temperatura di 153°C a cui è avvenuta un primo scoppio, corrispondentemente si è osservata una piccola diminuzione di temperatura, e dopo qualche secondo la cella si è incendiata. A questo punto la temperatura è aumentata più velocemente e scomparse le fiamme, è stata osservata l'uscita di fumo. Dopo 1067 secondi dall'inizio della prova la cella è stata rimossa dal porta-campione e in pochi istanti successivi si è verificata un secondo scoppio, a causa del quale si è avuto il distacco della termocoppia per cui i

dati relativi alla temperatura massima raggiunta dalla superficie del campione non sono disponibili. Il peso finale raggiunto del campione è stato misurato pari a 30.52 grammi

PROVA 2:

Irraggiamento	15 KW/m ²
Temperatura del calorimetro a cono	460° C
Velocità di aspirazione	11.2 g/s
Temperatura superficiale iniziale del campione	33.5° C
Peso iniziale del campione	47.30 g
Distanza tra cono e superficie porta-campione	2.5 cm

Tabella 15

In questa prova la batteria è stata irradiata con un flusso termico costante pari a 15 KW/m². La temperatura superficiale del campione è aumentata lentamente fino a raggiungere un valore di 184°C dopo circa 400 secondi, momento in cui si è avuto il primo scoppio. Anche in questa prova si è osservata una piccola diminuzione di temperatura con conseguente incendio della batteria fino a 450 secondi. Scomparsa la fiamma, si è avuta la comparsa di fumi fino a 546 secondi quando si è avuto un secondo scoppio dove viene raggiunta una temperatura massima di 479°C. Il peso finale del campione è stato misurato pari a 32.97 grammi.

PROVA 3:

Irraggiamento	20 KW/m ²
Temperatura del calorimetro a cono	520° C
Velocità di aspirazione	11.2 g/s
Temperatura superficiale iniziale del campione	40.5° C
Peso iniziale del campione	47.28 g
Distanza tra cono e superficie porta-campione	2.5 cm

Tabella 16

La cella è stata irradiata con un flusso termico costante pari a 20 KW/m². La temperatura superficiale del campione è stato osservato crescere fino a raggiungere un valore di 198°C dopo 292 secondi, tempo al quale la cella scoppia. Dopo qualche secondo il campione s'infiama e dopo altri 92 secondi si ha un secondo scoppio a cui corrisponde un aumento rapido della temperatura fino a 500°C. Il peso finale del campione è stato misurato pari a 31.79 grammi.

PROVA 4:

Irraggiamento	10 KW/m ²
Temperatura del calorimetro a cono	400° C
Velocità di aspirazione	11.2 g/s
Temperatura superficiale iniziale del campione	50.8° C
Peso iniziale del campione	47.38 g
Distanza tra cono e superficie porta-campione	2.5 cm

Tabella 17

La cella è stata irradiata con un flusso termico costante pari a 10 KW/m². La temperatura superficiale del campione è stato osservato crescere lentamente fino a raggiungere un valore di 176°C dopo 608 secondi,

quando il campione scoppia. Anche qui la temperatura decresce leggermente per poi risalire in seguito all'incendio della batteria e dopo il secondo scoppio viene raggiunta una temperatura massima di 632°C a 800 secondi dall'inizio dell'irraggiamento. Il peso finale del campione è stato misurato pari a 29.10 grammi.

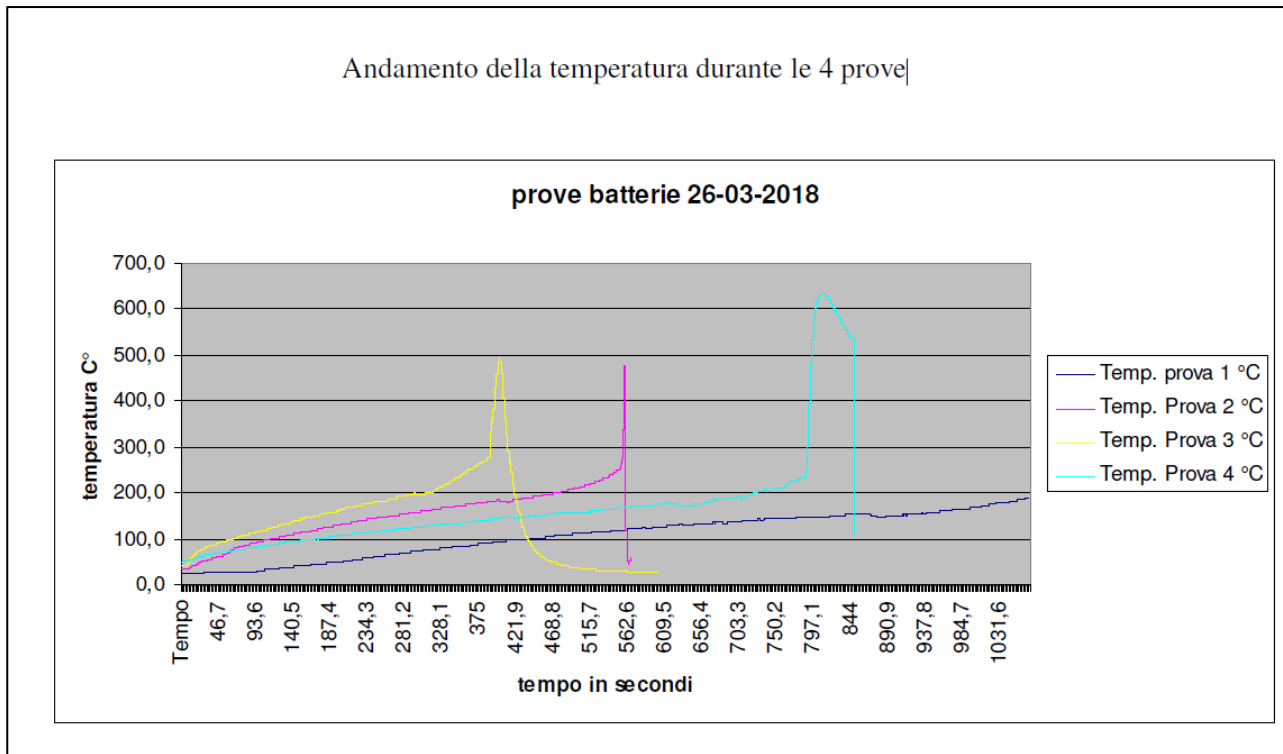


Figura 38

3.5.2 Prove al cono calorimetro su celle Li-ione eseguite nel mese di giugno 2018

Prove effettuate in più giorni con batterie a vari livelli di carica. La procedura di carica delle celle è stata effettuata con;

- CC(Constant Current): con corrente di 12° con limite di tensione massima di 4,2 V(100% SOC) o di 3,7 V (50% SOC)
- CV(Constant Voltage): tensione di 4,2 V o 3,7 V con limite di corrente minima sotto i 0,6 A

Altri parametri determinati sono:

- Potenza termica rilasciata dal campione
- Temperatura superficiale del campione
- Variazione di peso del campioni
- Tempi trascorsi per i vari effetti riscontrati

Le prove sperimentali condotte evidenziano la scarsa tolleranza all'abuso termico delle celle Litio-ione, condizione per la quale si può innescare il fenomeno di runaway.

In base ai risultati:

- a parità di SOC, all'aumentare del flusso termico incidente aumenta la temperatura della cella e si riduce sia il tempo di venting che di esplosione;

- a parità di flusso termico fornito, le celle con SOC 100% sono più pericolose in quanto presentano una più elevata temperatura superficiale, un maggior valore del *RHR*, un minor tempo di *venting* e di *esplosione*.

Prova N°	SoC (%)	Flusso termico (KW/m ²)	RHR max (KW/cella)	T max (°C)	Tempo di venting (s)	Tempo di esplosione (s)	Perdita di peso (gr)
1	100	15	27	367	580	810	28.08
2	100	25	40	703	300	385	24.27
3	100	35	34	328	180	315	34.14
4	100	50	24	497	171	226	20.89
5	100	35	36	735	236	294	43.53
6	100	50	30 (355)	440	240	272	20.24
7	50	25	4	726	470	580	10.73
8	50	50	0.7	632	117	148	9.52
9	50	35	38	367	246	324	17.33
10	50	50	33	643	204	230	43.97
11	0	50	41	487	138	196	8.31

Tabella 18

3.5.3 Prove eseguite su piastra riscaldante

Sono state effettuate con l'obiettivo di verificare la risposta delle batterie ioni-litio ad un forte irraggiamento termico, ed il comportamento delle stesse singolarmente ed in blocchi multipli, oltre a rilevare i tempi necessari a attivare i fenomeni collegati all'abuso termico.

ANALISI DELLA PROVA DEL 16-07-2018

Prova effettuata all'aperto (area Severini delle S.C.A. dei VV.F. a Capannelle) con perimetro di sicurezza di circa 80 mt (area di circa 400 m²), al centro dell'area vengono posizionate le batterie su una piastra elettrica riscaldata ad una temperatura superiore ai 300°C, ricoperta da una pellicola di carta stagnola per protezione, Le condizioni ambientali sereno e temperatura ambientale intorno ai 25 C°, il punto dove si è svolta la prova era esposto al sole, i tempi di organizzazione della prova sono di circa 1 ora, tra la preparazione dei materiali ed il riscaldamento della piastra elettrica.

1. Prova

E stata utilizzata una cella singola di forma cilindrica mod. NCR 18650 di colore verde con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, carica.

Dopo aver posizionata la cella sulla piastra i primi effetti si possono notare dopo circa 2'30" fuoriuscire delle bolle bianche sul polo positivo e a seguire 10" circa il fumo sempre polo positivo, a 3'30" avviene l'incendio e la proiezione della cella nel verso opposto del polo positivo.

2. Prova

E stata utilizzata una cella singola di forma cilindrica mod. NCR 18650 di colore grigio con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, carica.

Dopo aver posizionata la cella sulla piastra i primi effetti si possono notare dopo circa 2' fuoriuscire delle bolle bianche sul polo positivo e del liquido subito dopo inizio del fumo a 3'30" avviene l'incendio e la proiezione della cella nel verso opposto del polo positivo.

3. Prova

Sono state utilizzate due celle singole di forma cilindrica mod. NCR 18650 una di colore verde ed una di colore grigio con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, entrambe cariche.

Stesse condizioni della prova precedente, dopo aver posizionato le celle sulla piastra i primi effetti si possono notare dopo circa 2'30" fuoriuscire fumo e liquido, a 4' si nota una fuoriuscita conica di materiale dal polo negativo dalla cella verde e dopo poco avviene l'esplosione della cella verde, mentre quella grigia cade a terra ed esplode dopo circa 1' lontana dalla fonte di calore.

ANALISI DELLA PROVA DEL 01-08-2018

Prova effettuata all'aperto (area Severini delle S.C.A. dei VV.F. a Capannelle) con perimetro di sicurezza di circa 80 mt (area di circa 400 m²), al centro dell'area vengono posizionate le batterie su un lamierino di protezione posto sopra una piastra elettrica riscaldata ad una temperatura di 360 gradi, la superficie del lamierino ha raggiunto la temperatura intorno ai 300 C°.

Le condizioni ambientali serene e temperatura ambientale intorno ai 30 C°, il punto dove si è svolta la prova era esposto al sole, i tempi di organizzazione della prova sono di circa 1 ora, tra la preparazione dei materiali ed il riscaldamento della piastra elettrica.

1. Prova

È stata utilizzata una cella singola di forma cilindrica mod. NCR 18650 BD con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, scarica.

Dopo aver posizionata la cella sulla piastra i primi effetti si possono notare dopo circa 7' fuoriuscita di gas e liquido dal polo positivo, dopo 13' circa fuoriuscita abbondante di gas e piccolo incendio partito dal polo positivo e avvolge la batteria fino ad esaurirsi dopo circa 3'.

2. Prova

Sono state utilizzate 3 celle singole di forma cilindrica mod. NCR 18650 BD con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, scariche legate tra di loro con filo di ferro. La prova dopo circa 30' è stata interrotta per non si notavano variazioni.

3. Prova

È stata utilizzata una cella singola di forma cilindrica mod. NCR 18650 BD con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, carica.

Dopo aver posizionata la cella sulla piastra i primi effetti si possono notare dopo circa 6' una prima fuoriuscita di gas, dopo 11' fuoriuscita violenta accensione del polo positivo rotazione su se stessa e espulsione violenta con proiezione fino a 30 mt circa dal punto di partenza.

4. Prova

Sono state utilizzate 3 celle singole di forma cilindrica mod. NCR 18650 BD con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, cariche legate tra di loro con filo di ferro.

Dopo aver posizionata le celle sulla piastra i primi effetti si possono notare dopo circa 12' una prima fuoriuscita di gas da una cella, dopo 25' si verifica una fuoriuscita violenta dei gas con espulsione e proiezione delle parti di batteria fino a 11,5 mt.

3.5.4 Prove di immersione in acqua

Sono state eseguite con l'obiettivo di verificare la risposta delle batterie ioni-litio ad immersione in acqua normale ed acqua salata, ed il comportamento delle stesse dopo essere state immerse, oltre a rilevare i tempi necessari a attivare gli eventuali fenomeni collegati.

La prova viene effettuata all'interno, al centro del locale viene posizionato un piedistallo con i contenitori di acqua ed termocoppie per misura della temperatura del liquido.

DATI DELLA PROVA EFFETTUATA IL 29-08-2018

Prove effettuate nei locali della Direzione Centrale Prevenzione e Sicurezza Tecnica uffici del NIA(Roma), le condizioni ambientali temperatura ambientale intorno ai 25 C°.

1. Prova

E stata utilizzata una cella singola di forma cilindrica mod. NCR 18650 BD con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, carica.

Si preparata una soluzione salina contenente 50 ml di sale grosso in circa 800 ml di acqua riscaldata, per facilitare la diluzione del sale. All'interno del contenitore si posizionata 1 termocoppia per valutare le variazioni di temperatura.

Condizioni iniziali della prova; tensione della cella 4,152 V, temperatura dell'acqua è 44.0 C°, si immergeva la cella in acqua alle ore 9.50.

Dopo aver posizionata la cella immediatamente si nota la fuoriuscita di bolle dai poli della pila, in maggiore intensità dal polo negativo. Il fenomeno durava tutto il periodo della prova diminuendo di intensità con il passare del tempo, la temperatura, all'interno del liquido, diminuiva costantemente fino ad arrivare a 33 C°. Dopo 1 ora si terminava la prova di immersione, estratta la cella dall'acqua si notava un forte ossidazione sul polo positivo, la misura di tensione tra i poli delle cella è di 4.080 V, non si notavano altri fenomeni in corso.

2. Prova

E stata utilizzata una cella singola di forma piatta mod. C020 della EiG con tensione nominale 3.65 V e 20 Ah, ed una cella singola di forma cilindrica mod. NCR 18650 BD con tensione nominale 3.7 V e 3200 mAh, entrambe cariche. Si preparata un contenitore con circa 2400 ml di acqua .

All'interno del contenitore si posizionavano 2 termocoppie, lontane tra loro, per valutare le variazioni di temperatura.

Condizioni iniziali della prova; tensione della cella piatta 4,176 V e 4,149 V per la cella cilindrica, temperatura dell'acqua, per entrambe le termocoppie è 23.2 C°, si immergevano le celle in acqua alle ore 10.57.

Dopo aver posizionata la cella non si notava nessun effetto particolare, con il passare del tempo, la temperatura, all'interno del liquido, rimaneva pressoché costante, dopo 30 minuti si interrompeva la prova e la temperatura finale è di 23.3 C° e di 23.5 C° sulle termocoppie.

Dopo 30 minuti si terminava la prova di immersione, estratte le celle dall'acqua non si notavano altri fenomeni in corso.

Al termine della prova la tensione nella cella piatta è 4,16 V e di 4,14 V per la cella cilindrica.

3.6 Calorimetria a cono

Si veda il RT "Operazioni di ricarica di veicoli elettrici: la misura dell'HRR per la modellazione delle distanze di sicurezza della prof.ssa Paola Russo in collaborazione della dott.ssa M.L. Mele, del Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e dell'Ambiente dell'Università "Sapienza" di Roma.

Come evidenziato nel RT dello scorso anno [15] la Calorimetria a Cono è la tecnica utilizzata dalla *Fire Engineering* per la caratterizzazione dell'incendio prodotto da materiali infiammabili. La modellazione di scenari di incendio, in particolare, richiede la conoscenza della potenza termica ovvero velocità di rilascio del calore (*Heat Release Rate*, HRR) durante il processo di combustione, per poter predire l'evoluzione dell'incendio e i conseguenti effetti termici.

In particolare, l'individuazione dei rischi di incendio ed esplosione connessi alle attività di ricarica di veicoli elettrici o ibridi, e la definizione delle aree di danno, necessita della applicazione di modelli matematici che richiedono i dati sopra citati. La definizione di queste aree è fondamentale per la progettazione e gestione in sicurezza di sistemi di ricarica *outdoor* e *indoor*, per la valutazione del "rischio aggiuntivo" nel caso di eventuale coesistenza con altri tipi di approvvigionamento di energia per *automotive* (benzina e gasolio; idrogeno; GPL, metano); lo sviluppo di norme tecniche di prevenzione incendi e di norme giuridiche per i locali di ricarica.

I risultati delle prove, effettuate su celle singole e pacchi di celle costituite da un diverso numero di celle, vengono presentati nel RT citato ad inizio paragrafo, insieme ai risultati delle prove di calorimetria classica DSC effettuate su campioni di anodo, catodo ed elettrolita prelevati dalle celle stesse.

3.6.1 Il calorimetro a cono

Le tecniche calorimetriche "classiche" utilizzate per indagare il comportamento chimico di miscele, sostanze singole (ad esempio, la stabilità termica) e materiali. In particolare, come evidenziato lo scorso anno [16], la misura dell'HRR può essere effettuata sia con la Calorimetria a Cono (CC) che con la Calorimetria Adiabatica (ARC), ottenendo risultati non totalmente confrontabili e comunque discussi in letteratura. Quest'ultima tecnica richiede strumenti adeguati alla grandezza dei campioni (celle), prodotti in Inghilterra e che speriamo di acquisire nei prossimi anni.

Invece, la disponibilità di un CC presso il NIA (Nucleo Investigativo Antincendi) del CNVVF ha consentito di iniziare ad effettuare alcune misure di notevole interesse. In Italia, al momento, non esistono [3] calorimetri adiabatici da utilizzare per gli accumulatori

Il calorimetro a cono, comunque, la principale attrezzatura prevista per la certificazione dei materiali secondo le normative ISO [17] e ASTM [18]

Il principio di funzionamento è basato sull'osservazione empirica che la potenza termica rilasciata durante la combustione di un materiale è direttamente proporzionale alla portata di ossigeno consumato.

L'apparecchiatura è sostanzialmente costituita da un supporto porta-campione sostenuto da una bilancia e da un sistema di accensione realizzato con una resistenza radiante conica ed uno scintillatore elettrico. Il provino, di dimensioni 100x100 mm², è sottoposto all'azione del cono radiante che impone sulla sua superficie una potenza termica prestabilita, fino a valori di 100kW/m², rappresentativi dell'azione termica prodotta nella fase iniziale dell'incendio. Lo scintillatore elettrico agisce sopra la superficie del provino ed accende i gas di pirolisi liberati durante l'esposizione termica. I gas e fumi prodotti dall'incendio sono convogliati lungo un condotto di estrazione che alloggia le sonde per il prelievo dei campioni di gas e gli strumenti di misura.

I parametri che possono essere determinati dalla misura oltre alla velocità di rilascio del calore sono:

- la perdita di peso del campione durante la combustione;
- il tempo di accensione del campione;
- l'opacità dei fumi sviluppati nel processo di combustione;
- la concentrazione di CO, CO₂, e di altri gas tossici.

Per cui è possibile ottenere anche informazioni sulla tossicità dei prodotti di combustione

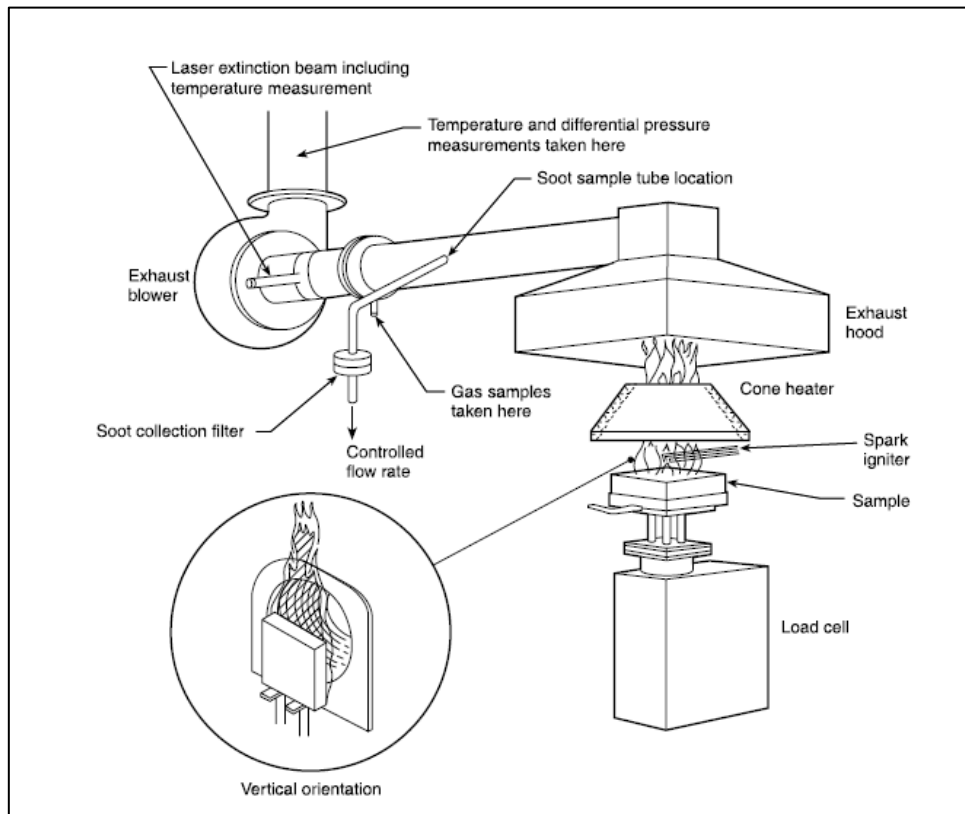


Figura 39. Schema di un Calorimetro a Cono

4 Conclusioni

il presente rapporto tecnico documenta il lavoro di progettazione della sperimentazione, lo stato di avanzamento e i primi risultati ottenuti da tutti coloro che hanno partecipato all'esperienza: ENEA, CNVVF - e con l'Università "Sapienza" di Roma: le relazioni tecniche prodotte dal gruppo della professoressa Paola Russo e del gruppo del professor Alessandro Bacaloni saranno solo richiamate e introdotte in testo e ad esse si rimanda.

Partendo da una necessaria premessa sulla nascita e sull'upgrade dell'impianto di prove all'aperto, denominato Impianto FARO, realizzato da Enea presso il CR Casaccia, e presentando anche alcuni dati di carattere economico, il lavoro prosegue con una Introduzione e la presentazione vera e propria del lavoro svolto, suddivisa in due capitoli: batterie per e-bike e il più corposo lavoro sulle celle NMC 18650.

Sono stati trattati i seguenti argomenti: la progettazione e delle attività preliminari effettuate su batterie per biciclette a pedalata assistita, con riferimento al piano di prova, allo stato di avanzamento delle attività e ai primi risultati di imaging radiografico; il piano di prova e lo stato di avanzamento delle attività effettuate su celle 18650 Panasonic, la presentazione dei primi risultati di imaging radiografico e caratterizzazione elettrica effettuati in Enea; i risultati delle prove, eseguite dal CNVVF, di esposizione a calore radiante e di immersione in acqua; il collegamento con le attività di calorimetria a cono e analisi chimica *ex ante* e *ex-post*, affidate alla Università di Roma, rispettivamente, al Dipartimento di ingegneria chimica e al Dipartimento di chimica.

Stante lo stato di avanzamento dei lavori, è possibile solo concludere quanto segue.

L'esecuzione di prove di abuso su batterie litio ione necessita di una organizzazione complessa e di numerose risorse umane e attrezzature. Prima fra tutte è necessaria la corretta identificazione dei dispositivi sottoposti a prove: diventa perciò fondamentale l'analisi chimica *ex ante* e la caratterizzazione elettrica. I dati forniti dai produttori per il tramite di importatori, a meno che non ricorra una diretta interlocuzione possibilmente ben preparata a priori, sono scarsi e non chiari.

Le prove di caratterizzazione elettrica effettuate sulle 18650 hanno dimostrato una scarsa riproducibilità dei risultati all'interno della stessa categoria di celle, il che fa comprendere quanto sia critico il controllo di qualità eseguito alla fonte e quanto questo debba essere eseguito da coloro che realizzano sistemi di accumulo, specialmente per la elettromobilità.

L'*imaging* in Raggi X, utilizzata sulle batterie e-bike e sulle celle Panasonic 18650, si constatano le potenzialità della tecnica per la verifica della integrità strutturale di celle e circuitistica, nonché per la verifica della composizione della batteria (tipologie di celle impiegate: cilindriche, prismatiche, planari). Come dimostrano le immagini delle 18650 Panasonic, è possibile anche riconoscere la presenza di dispositivi di sicurezza o della particolare configurazione interna.

Per quanto riguarda lo studio del comportamento a calore radiante delle 18650, si rileva in generale una scarsa tolleranza all'abuso e l'esistenza di due successivi fenomeni termici: il primo, che provoca il *venting* delle celle, probabilmente correlato alla evaporazione dei solventi basso bollenti di cui è costituito l'elettrolita; il secondo, che ne provoca la rottura catastrofica e l'innalzamento incontrollato della temperatura, probabilmente riconducibile, a parere della scrivente, al fenomeno di runaway della cella.

Per quanto riguarda le prove di immersione in acqua, la conducibilità elettrica elevata della soluzione salina provoca fenomeni non desiderati, mentre questo non accade in acqua senza aggiunta di soluti.

È necessario comunque proseguire la valutazione dei risultati ottenuti, includendo l'analisi dei video e delle immagini che sono state prodotte dal CNVVF. Successivamente questo materiale potrà essere messo a disposizione del MiSE, comunque sempre su richiesta, in quanto incompatibile con il formato testuale di questi rapporti.

5 Riferimenti bibliografici

1. C. Di Bari: "Hazard evaluation di celle Litio-ione ed elaborazione di un modello di raccolta dati per Safety Review di sistemi di accumulo", Report RdS/2012/095, Settembre 2012
2. C. Di Bari: "Aspetti di sicurezza di sistemi di accumulo ad alta temperatura e al Litio-ione per applicazioni nelle reti elettriche", RdS/PAR2013/192. Settembre 2014
3. Cinzia Di Bari: "Realizzazione di un laboratorio di caratterizzazione incendio ed esplosione di sistemi di accumulo elettrochimico: considerazioni tecnico economiche e progettazione preliminare". Report RdS/PAR2016/171. Settembre 2017
4. C. Di Bari, E. Rossi, S. Costà, F. Sacco: "definizione di procedure di prova di overvoltage e cortocircuito su sistemi di accumulo Litio-ione". RdS/PAR 2016/170. Settembre 2017.
5. https://www.gqitalia.it/gadget/auto-e-moto/2018/09/05/vespa-elettrica-data-uscita-novembre-prezzo-come-prenotarla-caratteristiche/?gclid=EAlaIqObChMIgJul3pjR3glVwprVCh2E0gLDEAAYAyAAEgKSCPD_BwE&refresh_ce=
6. https://elettrica.vespa.com/?utm_medium=search&utm_source=google&utm_campaign=vespaelettrica-ottobre2018&utm_content=keyword&gclid=EAlaIqObChMIgJul3pjR3glVwprVCh2E0gLDEAAYASAAEgJUKPD_BwE&gclsrc=aw.ds
7. https://elettrica.vespa.com/_common/pdf/IT-DIGITAL-VespaElettrica-10-2018.pdf
8. https://it.wikipedia.org/wiki/Bicicletta_a_pedalata_assistita
9. <https://www.instructables.com/id/DIY-EBike-Battery-Pack/>; <https://youtu.be/b2sBhDxmPmA>
10. Cinzia Di Bari, Paola Russo, Pierluigi Papillo: "Le soluzioni costruttive della alimentazione elettrica e dell'interfaccia di ricarica, adottate dai produttori di veicoli elettrici: Studio propedeutico alla individuazione dei pericoli nell'uso di EV". Report RdS/PAR2016/XXX. Settembre 2017
12. Tesla Battery report – Total Battery Consulting
13. <https://batterybro.com/blogs/18650-wholesale-battery-reviews/32496579-comparing-panasonic-18650-bd-vs-panasonic-18650-be>
14. N. Andrenacci, V. Sglavo, F. Vellucci: "DEFINIZIONE DELLA PROCEDURA SPERIMENTALE DI INVECCHIAMENTO DELLE CELLE LITIO-IONE". Report RdS/PAR2015/194. Settembre 2016
15. Paola Russo, Pierluigi Papillo: "La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza". Report RdS/PAR2016/241. Settembre 2017
16. Cinzia Di Bari, Vincenzo Sglavo: "Batterie Litio-ione: sulla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio". Report RdS/PAR2015/200. Settembre 2016
17. ISO 5660-1:2015(E) Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement), ISO, Geneva, (2015)
18. ASTM E1354-17, Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2017).

6 Allegato 1 – MSDS delle celle Panasonic 18650

PRODUCT SAFETY DATA SHEET

1. Product and Company Identification

Name of Product : Lithium-Ion battery (or, Lithium-Ion secondary battery)

Model name : Please refer to the attached sheet (Applied Model Name)

Name of Company : Panasonic Corporation

Address : 1-1, Matsushita-cho, Moriguchi, Osaka 570-8511 Japan

Department : Energy Company Lithium-Ion Battery Business Unit

Representative : Ichihiro Mori

Telephone number : +81-6-6991-1141

Facsimile number : +81-6-6994-4623

For emergency : +81-6-6991-1141

Document number: LIP-PSDS-2011-211

2. Composition / Information on Ingredients

Substance : Lithium-Ion battery

CAS number : Not specified

UN Class : Even classified as lithium ion batteries UN3480 or UN3481(Contained in Equipment or Packed with Equipment) the product is handled as Non-Dangerous Goods by meeting the UN Recommendations on the Transportation of Dangerous Goods Model Regulations Special Provision SP188 and IATA Dangerous Goods Regulations Packing Instruction 965-967 General Requirement and Section* (Excepted) is applied for air transportation, IMDG Code SP188 is applied for marine transportation. (1)(2)(3)

Composition : Positive electrode;

Cell Type A; Lithium cobalt oxide	20-35wt%
Cell Type B; Lithium nickel manganese cobalt oxide	20-35wt%
Cell Type C; Lithium nickel oxide	20-35wt%
Negative electrode; Carbon	10-20wt%
Electrolyte; Organic electrolyte (mainly composed of alkyl carbonate)	10-20wt%
Enclosure; Plastic	

3. Summary of Hazard

Class name : Not applicable for regulated class

Hazard : It may cause heat generation or electrolyte leakage if battery terminals contact with other metals. Electrolyte is flammable. In case of electrolyte leakage, move the battery from fire immediately.

Toxicity : Vapor generated from burning batteries, may make eyes, skin and throat irritate.

4. First Aid Measures

The product contains organic electrolyte. In case of electrolyte leakage from the battery, actions described below are required.

Eye contact : Flush the eyes with plenty of clean water for at least 15 minutes immediately, without rubbing. Take a medical treatment. If appropriate procedures are not taken, this may cause an eye irritation.

Skin contact : Wash the contact areas off immediately with plenty of water and soap. If appropriate procedures are not taken, this may cause sores on the skin.

Inhalation : Remove to fresh air immediately. Take a medical treatment.

5. Fire Fighting Measures

Extinguishing method : Since vapor, generated from burning batteries may make eyes, nose and throat irritate, be sure to extinguish the fire on the windward side. Wear the respiratory protection equipment in some cases.

Fire extinguishing agent : Plenty of water and alcohol-resistant foam are effective.

6. Measures for Electrolyte Leakage from the Battery

- Take up with absorbent cloth.
- Move the battery away from the fire.

7. Precaution for Handling and Storage

- When packing the batteries, do not allow battery terminals to contact each other, or contact with other metals. Be sure to pack batteries by providing partitions in the packaging box, or in a separate plastic bag so that the single batteries are not mixed together. (1)(2)(3)
- Use strong material for packaging boxes so that they will not be damaged by vibration, impact, dropping and stacking during their transportation. (1)(2)(3)
- Do not let water penetrate into packaging boxes during their storage and transportation.
- The batteries will be stored at room temperature, charged to about 30–50% of capacity.
- Do not store the battery in places of the high temperature exceeding 35 deg. C or under direct sunlight or in front of a stove. Please also avoid the places of high humidity. Be sure not to expose the battery to condensation, water drop or not to store it under frozen condition.
- Batteries are sure to be packed in such a way as to prevent short circuits under conditions normally encountered in transport. (1)(2)(3)
- Please avoid storing the battery in the places where it is exposed to the static electricity so that no damage will not be caused to the protection circuit of the battery pack.

8. Exposure Controls / Personal Protection (in case of electrolyte leakage from the battery)

Acceptable concentration : Not specified in ACGIH. (4)

Facilities : Provide appropriate ventilation system such as local ventilator in the storage place.
Protective clothing : Gas mask for organic gases, safety goggles, safety gloves.

9. Physical and Chemical Properties of Single Cell

Appearance : Single cell: Cylindrical or Prismatic cell
Nominal voltage : Single cell: Please refer to the attached sheet (Applied Model Name)

10. Stability and Reactivity

Since batteries utilize a chemical reaction they are actually considered a chemical product. As such, battery performance will deteriorate over time even if stored for a long period of time without being used. In addition, the various usage conditions such as charge, discharge, ambient temperature, etc. are not maintained within the specified ranges the life expectancy of the battery may be shortened or the device in which the battery is used may be damaged by electrolyte leakage.

11. Toxicology Information (in case of electrolyte leakage from the battery)

Acute toxicity : Oral (rat) LD50 >2g/kg (estimated)
Irritation : Irritating to eyes and skin.
Mutagenicity : Not specified.
Chronic toxicity : Not specified.

12. Ecological Information

- In case of the worn-out battery was disposed in land, the battery case may be corroded, and leak electrolyte. But, we have no ecological information.

Heavy metal in battery : Mercury(Hg) and Cadmium(Cd) are neither contained nor used in battery.

13. Disposal Conditions** (Precautions for recycling)

- When the battery is worn out, dispose of it under the ordinance of each local government or the law issued by relating government.
- Disposal of the worn-out battery may be subjected to Collection and Recycling Regulation.

14. Transportation Information

- Even classified as lithium ion batteries UN3480 or UN3481(Contained in Equipment or Packed with Equipment), the product is handled as Non-Dangerous Goods by meeting the UN Recommendations on the Transportation of Dangerous Goods Model Regulations Special Provision SP188. (1)
 - (a) For a lithium-ion cell, the Watt-hour rating is not more than 20 Wh;
 - (b) For a lithium-ion battery, the Watt-hour rating is not more than 100 Wh.
Lithium ion batteries subject to this provision shall be marked with the Watt-hour rating on the outside case, except those manufactured before 1 January 2009 ;
 - (c) Each cell or battery is of the type proved to meet the requirements of each test in the UN Manual of Tests



and Criteria, Part 38.3 :

- (d) Cells and batteries, except when installed in equipment, shall be packed in inner packagings that completely enclose the cell or battery. Cells and batteries shall be protected so as to prevent short circuits. This includes protection against contact with conductive materials within the same packaging that could lead to a short circuit. The inner packagings shall be packed in strong outer packagings ;
 - (e) Cells and batteries when installed in equipment shall be protected from damage and short circuit, and the equipment shall be equipped with an effective means of preventing accidental activation. When batteries are installed in equipment, the equipment shall be packed in strong outer packagings constructed of suitable material of adequate strength and design in relation to the packaging's capacity and its intended use unless the battery is afforded equivalent protection by the equipment in which it is contained;
 - (f) Except for packages containing button cell batteries installed in equipment (including circuit boards), or no more than four cells installed in equipment or no more than two batteries installed in equipment, each package shall be marked with the following:
 - (i) an indication that the package contains "lithium ion" cells or batteries, as appropriate;
 - (ii) an indication that the package shall be handled with care and that a flammability hazard exists if the package is damaged;
 - (iii) an indication that special procedures shall be followed in the event the package is damaged, to include inspection and repacking if necessary; and
 - (iv) a telephone number for additional information;
 - (g) Each consignment of one or more packages marked in accordance with paragraph (f) shall be accompanied with a document including the following:
 - (i) an indication that the package contains "lithium ion" cells or batteries, as appropriate;
 - (ii) an indication that the package shall be handled with care and that a flammability hazard exists if the package is damaged;
 - (iii) an indication that special procedures shall be followed in the event the package is damaged, to include inspection and repacking if necessary; and
 - (iv) a telephone number for additional information;
 - (h) Except when batteries are installed in equipment, each package shall be capable of withstanding a 1.2 m drop test in any orientation without damage to cells or batteries contained therein, without shifting of the contents so as to allow battery to battery (or cell to cell) contact and without release of contents; and
 - (i) Except when batteries are contained in or packed with equipment, packages shall not exceed 30 kg gross mass for marine transportation. (not exceed 10kg for air transportation)
- For marine transportation the product is handled as Non-Dangerous Goods by meeting the IMO International Maritime Dangerous Goods (IMDG Code) 2010 Edition (Amendment 35-10) SP188 (Same as UN Special Provision SP188 above).(3)
 - For air transportation the product is handled as Non-Dangerous Goods by meeting the IATA Dangerous Goods Regulations 52nd Edition Effective 1 January 2011 Packing Instruction 965-967 General Requirement and Section (Exempted) and UN Special Provision SP188 above.(2)
 - (j) Lithium ion batteries identified by manufacturer as being defective for safety reasons, or that have been damaged, that have the potential of producing a dangerous evolution of heat, fire or short circuit are forbidden for transport (e.g. those being returned to the manufacturer for safety reasons).
 - (k) Each package contains more than four cells or more than two batteries must be labeled with a lithium battery handling label.
 - * The width 120mm X length 110mm sized lithium battery handling label must be labeled onto the side of a package without bending it.
 - * The width 74mm X length 105mm sized lithium battery handling label may use for smaller packages.
 - (l) The words "Lithium ion batteries", "not restricted" and "PI number" must be included in the Additional

Handling Information on the air waybill, when an air waybill is used.

(PI number Cell and Battery : PI965, Packed with Equipment : PI966, Contained in Equipment : PI967)

- (m) Any person preparing or offering cells or batteries for transport must receive adequate instruction on these requirements commensurate with their responsibilities.
 - (n) Except when batteries are installed in or packed with equipment, packages shall not exceed 10kg gross mass.
- The Lithium-Ion cells or batteries as stated in Appendix are made in compliance to the requirements stated in the latest edition of the IATA Dangerous Goods Regulations Packing Instruction 965 General requirements and Section- , such that they can be transported as a NOT RESTRICTED (non-hazardous/non-dangerous) goods. However, if those lithium-ion cells or batteries are pack with or contained in an equipment, then it is the responsibility of the shipper to ensure that the consignment are packed in compliance to the latest edition of the IATA Dangerous Goods Regulations General requirements and Section- Packing Instruction 966 or 967 in order for that consignment to be declared as NOT RESTRICTED (non-hazardous/non-Dangerous).
 - During the transportation of a large amount of batteries by ship, trailer or railway, do not leave them in the places of high temperatures and do not allow them to be exposed to condensation.
 - During the transportation do not allow packages to be fallen down or damaged.

15. Regulatory Information

- UN (United Nations): Recommendations on the Transportation of Dangerous Goods Model Regulations
Sixteenth revised edition
- ICAO (International Civil Aviation Organization) : Technical Instructions for the safety transport of dangerous goods by air 2011-2012 Edition
- IATA (International Air Transport Organization) : Dangerous Goods Regulations 52nd Edition
Effective 1 January 2011
- IMO (International Maritime Organization) : International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code
2010 Edition (Amendment 35-10)

16. Other Information

References

- (1) UN (United Nations) : Recommendations on the Transportation of Dangerous Goods Model Regulations
Sixteenth revised edition
- (2) IATA (International Air Transport Organization) : Dangerous Goods Regulations 52nd Edition,
Effective 1 January 2011
- (3) IMO (International Maritime Organization) : International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code
2010 Edition (Amendment 35-10)
- (4) TLVs and BEIs 1999 ACGIH

Product name: Lithium ion battery cell

Reference number: SDS-IBT-00028
Establishment / Revision: Sep. 16, 2011

Safety data sheet for product

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

- Product name: Lithium ion battery cell
- Product code: None (All models Sanyo manufactured and whose capacity is less than or equal to 4.95Ah)
- Company name: Sanyo Electric Co., Ltd. Energy Devises Company
- Address: 222-1 , Kaminaizen, Sumoto City, Hyogo, Japan
- Telephone number: +81-799-24-4111
- Fax number: +81-799-23-2879
- Emergency telephone number: [Weekday] +81-799-23-3931
[Night and holiday] +81-799-24-4131

2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

- Substance or preparation: Preparation
- Information about the chemical nature of product: *1

Common chemical name / General name	CAS number	Classification and hazard labeling
Lithium transition metal oxidate (Li[M] _m [O] _n *2)	12190-79-3 12057-17-9 182442-95-1	
Iron	7439-89-6	
Aluminum	7429-90-5	
Graphite (Natural graphite)	7782-42-5	
(Artificial graphite)	7440-44-0	
Copper	7440-50-8	
Organic electrolyte	-	Inflammable liquid

*1 Not every product includes all of these materials.

*2 The letter M means transition metal and candidates of M are Co, Mn and Ni. One compound includes one or more of these metals and one product includes one or more of the compounds. The letter m and n means the number of atoms.

3. HAZARDS IDENTIFICATION

For the battery cell, chemical materials are stored in a hermetically sealed metal case, designed to withstand temperatures and pressures encountered during normal use. As a result, during normal use, there is no physical danger of ignition or explosion and chemical danger of hazardous materials' leakage.

However, if exposed to a fire, added mechanical shocks, decomposed, added electric stress by miss-use, the gas release vent will be operated. The battery cell case will be breached at the extreme, hazardous materials may be released.

Moreover, if heated strongly by the surrounding fire, acrid gas may be emitted.

- Most important hazard and effects

Human health effects:

Inhalation: The steam of the electrolyte has an anesthesia action and stimulates a respiratory tract.

Skin contact: The steam of the electrolyte stimulates a skin. The electrolyte skin contact causes a sore and stimulation on the skin.

Eye contact: The steam of the electrolyte stimulates eyes. The electrolyte eye contact causes a sore and stimulation on the eye. Especially, substance that causes a strong inflammation of the eyes is contained.

Environmental effects: Since a battery cell remains in the environment, do not throw out it into the environment.

- Specific hazards:

If the electrolyte contacts with water, it will generate detrimental hydrogen fluoride.

Since the leaked electrolyte is inflammable liquid, do not bring close to fire.

Product name: Lithium ion battery cell

Reference number: SDS-IBT-00026
Establishment / Revision: Sep. 16, 2011

4. FIRST-AID MEASURES

Spilled internal cell materials

- Inhalation:
Make the victim blow his/her nose, gargle. Seek medical attention if necessary.
- Skin contact:
Remove contaminated clothes and shoes immediately. Wash extraneous matter or contact region with soap and plenty of water immediately.
- Eye contact:
Do not rub one's eyes. Immediately flush eyes with water continuously for at least 15 minutes. Seek medical attention immediately.

A battery cell and spilled internal cell materials

- Ingestion:
Make the victim vomit. When it is impossible or the feeling is not well after vomiting, seek medical attention.
-

5. FIRE-FIGHTING MEASURE

- Suitable extinguishing media: Plenty of water, carbon dioxide gas, nitrogen gas, chemical powder fire extinguishing medium and fire foam.
 - Specific hazards: Corrosive gas may be emitted during fire.
 - Specific methods of fire-fighting: When the battery burns with other combustibles simultaneously, take fire-extinguishing method which correspond to the combustibles. Extinguish a fire from the windward as much as possible.
 - Special protective equipment for firefighters:
 - Respiratory protection: Respiratory equipment of a gas cylinder style or protection-against-dust mask
 - Hand protection: Protective gloves
 - Eye protection: Goggle or protective glasses designed to protect against liquid splashes
 - Skin and body protection: Protective cloth
-

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Spilled internal cell materials, such as electrolyte leaked from a battery cell, are carefully dealt with according to the followings.

- Precautions for human body:
Remove spilled materials with protective equipment (protective glasses and protective gloves). Do not inhale the gas as much as possible. Moreover, avoid touching with as much as possible.
 - Environmental precautions: Do not throw out into the environment.
 - Method of cleaning up: The spilled solids are put into a container. The leaked place is wiped off with dry cloth.
 - Prevention of secondary hazards: Avoid re-scattering. Do not bring the collected materials close to fire.
-

7. HANDLING AND STORAGE

- Handling
 - Technical measures:
 - Prevention of user exposure: Not necessary under normal use.
 - Prevention of fire and explosion: Not necessary under normal use.
 - Precaution for safe handling: Do not damage or remove the external tube.
 - Specific safe handling advice: Never throw out cells in a fire or expose to high temperatures. Do not soak cells in water or seawater. Do not expose to strong oxidizers. Do not give a strong mechanical shock or fling. Never disassemble, modify or deform. Do not connect the positive terminal to the negative terminal with electrically conductive material. Do not use in the place temperature can be high. In the case of charging, use only dedicated charger or charge according to the conditions specified by Sanyo.
 - Storage
 - Technical measures:
 - Storage conditions (suitable, to be avoided): Avoid direct sunlight, high temperature, high humidity. Store in cool place (temperature: -20 ~ 35 degree C, humidity: 45 ~ 85%).
 - Incompatible products: Conductive materials, water, seawater, strong oxidizers and strong acids
 - Packing material (recommended, not suitable): Insulative and tear proof materials are recommended.
-

Product name: Lithium ion battery cell

Reference number: SDS-IBT-00026
 Establishment / Revision: Sep. 16, 2011

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

- Engineering measures:
 No engineering measure is necessary during normal use. In case of internal cell materials' leakage, operate the local exhaust or improve ventilation.

• Control parameters

Common chemical name / General name	ACGIH (2009)	
	TLV-TWA	BEI
Lithium transition metal oxidate	0.02mg/m ³ (as cobalt) * 0.2mg/m ³ (as manganese) * 0.2 mg/m ³ (as nickel) *	-
Aluminum	10mg/m ³ (metal coarse particulate) 5mg/m ³ (inflammable powder) 5mg/m ³ (weld fume)	-
Carbon (Natural graphite) (Artificial graphite)	2mg/m ³ (inhalant coarse particulate)	-
Copper	0.2mg/m ³ (fume) 1.0mg/m ³ (a coarse particulate, Mist)	-
Organic electrolyte	-	-

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.

TLV-TWA: Threshold Limit Value-Time Weighted Average concentration

BEI: Biological Exposure Indices

* Not every product includes all of these metals.

• Personal protective equipment

Respiratory protection: Respirator with air cylinder, dust mask

Hand protection: Protective gloves

Eye protection: Goggle or protective glasses designed to protect against liquid splashes

Skin and body protection: Working clothes with long sleeve and long trousers

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

• Appearance

Physical state: Solid

Form: Cylindrical or Prismatic or Prismatic (laminated)

Color: Metallic color or black(without tube if it has tube)

Odor: No odor

• pH: NA

• Specific temperatures/temperature ranges at which changes in physical state occur:

There is no useful information for the product as a mixture.

• Flash point: NA

• Explosion properties: NA

• Density: NA

• Solubility ,with indication of the solvent(s): Insoluble in water

10. STABILITY AND REACTIVITY

• Stability: Stable under normal use

• Hazardous reactions occurring under specific conditions

• Conditions to avoid: When a battery cell is exposed to an external short-circuit, crushes, deformation, high temperature above 100 degree C, it will be the cause of heat generation and ignition. Direct sunlight and high humidity.

• Materials to avoid: Conductive materials, water, seawater, strong oxidizers and strong acids.

• Hazardous decomposition products: Acid or harmful gas is emitted during fire.

Product name: Lithium ion battery cell

Reference number: SDS-IBT-00026
Establishment / Revision: Sep. 16, 2011

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

There is no available data on the product itself. The information of the internal cell materials is as follows.

Lithium transition metal oxidate - $\text{Li}[\text{M}]_m[\text{O}]_n$

- Acute toxicity: No applicable data.
 - Reference cobalt: LDLo, oral - Guinea pig 20mg/kg
 - manganese: LD50, oral - Guinea pig 9000mg/kg
 - nickel: LDLo, oral - Guinea pig 5mg/kg
- Local effects: Unknown.
- Sensitization:
 - The nervous system of respiratory organs may be stimulated sensitively.
- Chronic toxicity/Long term toxicity:
 - By the long-term inhalation of coarse particulate or vapor of cobalt, it is possible to cause the serious respiratory-organs disease. Skin reaction or a lung disease for allergic or hypersensitive person may be caused.
 - Cobalt compounds belong to the 2B group of the carcinogen in the IARC category (substance which is suspected to have carcinogenic to man).
 - By the long-term or repetitive inhalation of coarse particulate of Manganese Oxide (MnO_2), lungs and nervous system may be affected; bronchitis, pneumonia, nerve disease or nerve mental disorder (manganese poisoning) may be caused.
 - Nickel Compounds belong to the 1st group of the carcinogen in the IARC category (substance which has carcinogenic to man).
- Skin causticity: Although it is very rare, the rash of the skin and allergic erythema may result.
 - * *Not every product includes all of these metals.*

Aluminum

- Local effects: Aluminum itself has no toxicity. When it goes into a wound, dermatitis may be caused.
- Chronic toxicity/Long term toxicity: By the long-term inhalation of coarse particulate or fume, it is possible to cause lung damage (aluminum lungs).

Graphite

- Acute toxicity: Unknown.
- Local effects: When it goes into one's eyes, it stimulates one's eyes; conjunctivitis, thickening of corneal epithelium or edematous inflammation palpebra may be caused.
- Chronic toxicity/Long term toxicity:
 - Since the long-term inhalation of high levels of graphite coarse particulate may become a cause of a lung disease or a tracheal disease.
- Carcinogenicity:
 - Graphite is not recognized as a cause of cancer by research organizations and natural toxic substance research organizations of cancer.

Copper

- Acute toxicity:
 - 80-100mg sized coarse particulate causes a gastrointestinal disturbance with nausea and inflammation.
 - TDLo, hypodermic - Rabbit 375mg/kg
- Local effects:
 - Coarse particulate stimulates a nose and a tracheal.
 - When it goes into one's eyes, the symptom of the reddening and the pain is caused.
- Sensitization: Sensitization of the skin may be caused by long-term or repetitive contact.

Organic Electrolyte

- Acute toxicity:
 - LD₅₀, oral - Rat 2,000mg/kg or more
- Local effects: Unknown.
- Skin irritation study: Rabbit - Mild
- eye irritation study: Rabbit - Very severe

Product name: Lithium ion battery cell

Reference number: SDS-IBT-00026
Establishment / Revision: Sep. 16, 2011

12. ECOLOGICAL INFORMATION

- Persistence/degradability:
Since a battery cell and the internal materials remain in the environment, do not bury or throw out into the environment.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

- Recommended methods for safe and environmentally preferred disposal:
Product (waste from residues)
Specified collection or disposal of lithium ion battery is required by the law like as "battery control law" in several nations. Collection or recycle of the battery is mainly imposed on battery's manufacturer or importer in the nations recycle is required.
- **Contaminated packaging**
Neither a container nor packing is contaminated during normal use. When internal materials leaked from a battery cell contaminates, dispose as industrial wastes subject to special control.

14. TRANSPORT INFORMATION

In the case of transportation, avoid exposure to high temperature and prevent the formation of any condensation. Take in a cargo of them without falling, dropping and breakage. Prevent collapse of cargo piles and wet by rain. The container must be handled carefully. Do not give shocks that result in a mark of hitting on a cell. Please refer to Section 7-HANDLING AND STORAGE also.

UN regulation

- ID number: 3480
- Proper shipping name:
Lithium ion batteries
- Class: 9 *
- Packing group: II *

** However this product is defined as above, it is not recognized as "DANGEROUS GOODS" when its transport condition accords with instructions or provisions depend on region and transportation mode. About the instructions or provisions, please see descriptions in box brackets of following regulations.*

Regulation depends on region and transportation mode

- Worldwide, air transportation:
IATA-DGR ["packing instruction 965 section II"]
- Worldwide, sea transportation:
IMO-IMDG Code [special provision 188]
- Europe, road transportation:
ADR [special provision 188]

15. REGULATORY INFORMATION

- Regulations specifically applicable to the product:
Wastes Disposal and Public Cleaning Law [Japan]
Law for Promotion of Effective Utilization of resources [Japan]
US Department of Transportation 49 Code of Federal Regulations [USA]

** About overlapping regulations, please refer to Section 14-TRANSPORT INFORMATION.*

Product name: Lithium ion battery cell

Reference number: SDS-IBT-00026
Establishment / Revision: Sep. 16, 2011

16. OTHER INFORMATION

- This safety data sheet is offered an agency who handles this product to handle it safely.
- The agency should utilize this safety data sheet effectively (put it up, educate person in charge) and take proper measures.
- ***The information contained in this Safety data sheet is based on the present state of knowledge and current legislation.***
- This safety data sheet provides guidance on health, safety and environmental aspects of the product and should not be construed as any guarantee of technical performance or suitability for particular applications.

Reference

Chemical substances information: Japan Advanced Information center of Safety and Health
International Chemical Safety Cards (ICSCs): International Occupational Safety and Health Information Centre (CIS)
Dangerous Goods Regulations – 52nd Edition Effective 1 January 2011: International Air Transport Association (IATA)
IMDG Code - 2010 Edition: International Maritime Organization (IMO)
The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road – 2011: The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)
RTECS (CD-ROM)
MSDS of raw materials prepared by the manufactures

First edition: Apr. 28, 2010
Prepared and approved by
Sanyo Electric Co., Ltd.
Energy Devices Company
Lithium-Ion Battery Division
Battery System Development Management Department

Applied Model Name

Model Information				Cell		Battery Pack					Refer SDS
Panasonic Toughbook Model Name	Battery Pack Model Name	Manufacturer	Manufacturer Model Name	Cell Name	Type	Nominal Voltage (V)	Rating Voltage (V)	Rating Capacity Typ.(Ah)	Rating Capacity Min.(Ah)	Watt-hour Rating	
CF-07	CF-VZ5U21 CF-VZ5U21J5 CF-VZ5U21W	Sanyo	ZUF10450P-MDS-07	UF10450P	-	3.7	7.4	1.7	1.7	13	SDS-BT-00026
CF-08	CF-VZ5U44 CF-VZ5U44J	Sanyo	ZUR18650P-2-MDS-08	UR18650P	-	3.7	7.4	5.2	5	37	SDS-BT-00026
CF-18	CF-VZ5U08	Panasonic	OGR-S/8048	OGR18650A	A	3.7	7.4	6.6	6.12	46	LP-PSDS-2011-211
CF-18	CF-VZ5U00 CF-VZ5U00A	Panasonic	OGR-S/802A	OGR18650CA	A	3.7	7.4	6.6	6.12	46	LP-PSDS-2011-211
CF-18	CF-VZ5U00A CF-VZ5U00AJ	Panasonic	OGR-S/802A	OGR18650D	A	3.7	7.4	7.05	6.66	50	LP-PSDS-2011-211
CF-18	CF-VZ5U00B CF-VZ5U00BJ	Panasonic	OGR-S/803H OGR-S/803M	OGR18650E	A	3.7	7.4	7.85	7.26	54	LP-PSDS-2011-211
CF-18	CF-VZ5U00R	Panasonic	OGR-S/805J OGR-S/805L OGR-S/805N OGR-S/805P	OGR18650E	A	3.7	7.4	7.85	7.26	54	LP-PSDS-2011-211
CF-18	CF-VZ5U00R2	Panasonic	OGR-S/808K OGR-S/808P	OGR18650E	A	3.7	7.4	7.85	7.26	54	LP-PSDS-2011-211
CF-19	CF-VZ5U48 CF-VZ5U48J	Panasonic	NCR-S/803E	NCR18650	O	3.55	10.65	5.7	5.4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-19	CF-VZ5U48J2	Panasonic	NCR-S/803F	NCR18650	O	3.55	10.65	5.7	5.4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-19	CF-VZ5U48J22	Panasonic	NCR-S/803G	NCR18650	O	3.55	10.65	5.7	5.4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-19	CF-VZ5U49 CF-VZ5U49J	Panasonic	NCR-S/803H	NCR18650	O	3.55	10.65	5.7	5.4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-19	CF-VZ5U50 CF-VZ5U50W	Panasonic	NCR-S/807O	NCR18650	O	3.55	10.65	5.7	5.4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-19	CF-VZ5U50J	Sanyo	ZUR18650T-2-MDS19	UR18650T	-	3.7	11.1	5.6	5.3	59	SDS-BT-00026
CF-25/45/50	CF-VZ5U18B CF-VZ5U18BJ	Sanyo	ZUR18650P-3-MDS-50	UR18650P	-	3.7	11.1	6.6	6.3	70	SDS-BT-00026
CF-25/45/50	CF-VZ5U18J	Sanyo	ZUR18650P-3-MDS-48	UR18650P	-	3.7	11.1	5.4	5.1	57	SDS-BT-00026
CF-29	CF-VZ5U29A CF-VZ5U29AJ	Panasonic	OGR-S/902D	OGR18650E	A	3.7	11.1	7.85	7.26	81	LP-PSDS-2011-211
CF-29	CF-VZ5U29AB	Panasonic	OGR-S/902E	OGR18650E	A	3.7	11.1	7.85	7.26	81	LP-PSDS-2011-211
CF-29/51/52	CF-VZ5U29AS CF-VZ5U29ASJ	Sanyo	ZUR18650P-3-MDS-52	UR18650P	-	3.7	11.1	7.8	7.5	84	SDS-BT-00026
CF-29/51/52	CF-VZ5U29AS2	Sanyo	ZUR18650P-3-MDS52C	UR18650P	-	3.7	11.1	7.8	7.5	84	SDS-BT-00026
CF-30	CF-VZ5U48 CF-VZ5U48J	Panasonic	NCR-S/901D	NCR18650	O	3.55	10.65	8.55	8.1	87	LP-PSDS-2011-211
CF-30	CF-VZ5U48R	Panasonic	NCR-S/901E NCR-S/9228E	NCR18650	O	3.55	10.65	8.55	8.1	87	LP-PSDS-2011-211
CF-30	CF-VZ5U48T	Panasonic	NCR-S/901F NCR-S/916A	NCR18650	O	3.55	10.65	8.55	8.1	87	LP-PSDS-2011-211
CF-31	CF-VZ5U45AJ	Panasonic	NCR-S/916E NCR-S/9228E	NCR18650	O	3.55	10.65	8.55	8.1	87	LP-PSDS-2011-211
CF-31/52	CF-VZ5U54J	Sanyo	ZUR18650P-2-MDS31V	UR18650P	-	3.7	11.1	5.2	5	56	SDS-BT-00026
CF-52	CF-VZ5U65J	Sanyo	ZUR18650P-2-MDS32V	UR18650P	-	3.7	11.1	5.2	5	56	SDS-BT-00026
CF-53	CF-VZ5U71D CF-VZ5U71DJ	Panasonic	OGR-S/81AT2E	OGR18650C2	B	3.6	10.8	6.75	6.3	69	LP-PSDS-2011-211
CF-53	CF-VZ5U72J	Panasonic	OGR-S/81SAE	OGR18650C2	B	3.6	10.8	4.5	4.2	46	LP-PSDS-2011-211
CF-73	CF-VZ5U25 CF-VZ5U25J	Sanyo	ZUF10450P-2-MDS73	UF10450P	-	3.7	11.1	3.8	3.6	40	SDS-BT-00026
CF-74	CF-VZ5U43A CF-VZ5U43AJ	Sanyo	ZUR18650P-3-MDS74A	UR18650P	-	3.7	11.1	7.8	7.5	84	SDS-BT-00026
CF-A2/A3	CF-VZ5U20 CF-VZ5U20J CF-VZ5U20J5	Panasonic	OGR-S/853C	OGR18650A	A	3.7	11.1	4	3.8	43	LP-PSDS-2011-211
CF-B30	CF-VZ5U65J5	Sanyo	ZUR18650A-2-MDS	UR18650A	-	3.6	10.8	4.5	4.2	46	SDS-BT-00026
CF-B30	CF-VZ5U70J5	Sanyo	ZUR18650A-MDS-2	UR18650A	-	3.6	10.8	2.25	2.1	23	SDS-BT-00026
CF-B30	CF-VZ5U71J5	Sanyo	ZUR18650TA-2-MDS	UR18650TA	-	3.7	11.1	7	6.7	64	SDS-BT-00026
CF-C1	CF-VZ5U85J	Sanyo	ZUR18650T-2-MDS(C1)	UR18650TA	-	3.7	7.4	6	5.7	43	SDS-BT-00026
CF-D1	CF-VZ5U73J	Panasonic	NCR-S/803AE	NCR18650A	O	3.6	10.8	6.2	5.8	63	LP-PSDS-2011-211
CF-F8	CF-VZ5U85J	Panasonic	NCR-S/81TA	NCR18650	O	3.6	10.8	5.8	5.4	59	LP-PSDS-2011-211
CF-F9/J9	CF-VZ5U84J5	Panasonic	NCR-S/865A	NCR18650A	O	3.6	10.8	6.2	5.8	63	LP-PSDS-2011-211
CF-S/J10	CF-VZ5U87J5	Panasonic	NCR-S/405A	NCR18650A	O	3.6	7.2	6.2	5.8	42	LP-PSDS-2011-211
CF-S/J10	CF-VZ5U86J5	Panasonic	NCR-S/873A	NCR18650A	O	3.6	7.2	5.3	6.7	63	LP-PSDS-2011-211
CF-L2	CF-VZ5U19 CF-VZ5U19J5	Sanyo	ZUF10450P-2-MDSL2	UF10450P	-	3.7	11.1	3.6	3.4	38	SDS-BT-00026
CF-M4	CF-VZ5U15A CF-VZ5U15AJ5	Panasonic	OGR-S/864F	OGR18650A	A	3.7	11.1	4	3.8	43	LP-PSDS-2011-211
CF-M4	CF-VZ5U15A CF-VZ5U15AJ	Panasonic	OGR-S/864G	OGR18650A	A	3.7	11.1	4	3.8	43	LP-PSDS-2011-211
CF-P1	CF-VZ5U22 CF-VZ5U22J5 CF-VZ5U22W	Sanyo	ZUR18650-MDS-6	UR18650P	-	3.7	7.4	1.7	1.7	13	SDS-BT-00026
CF-P1	CF-VZ5U25 CF-VZ5U25J5	Sanyo	ZUR18650P-MSD-P1R1	UR18650P	-	3.7	7.4	2.1	2.1	16	SDS-BT-00026
CF-P1	CF-VZ5U25 CF-VZ5U25W	Sanyo	ZUR18650P-MSD-P1R2	UR18650P	-	3.7	7.4	2.1	2.1	16	SDS-BT-00026
CF-P2	CF-VZ5U33	Panasonic	OGA-E/1098A	OGA103450A	A	3.6	3.6	1.95	1.85	6.7	LP-PSDS-2011-211
CF-R1/T1/R2/T2	CF-VZ5U24A CF-VZ5U24AJ	Sanyo	ZUR18650P-2-MDS-T2	UR18650P	-	3.7	7.4	4.4	4.2	32	SDS-BT-00026
CF-R1/T1/R2/T2	CF-VZ5U24AB	Sanyo	ZUR18650P-2-MDS-T2C	UR18650P	-	3.7	7.4	4.4	4.2	32	SDS-BT-00026
CF-R1/T1/R2/T2	CF-VZ5U24B CF-VZ5U24BJ	Sanyo	ZUR18650P-2-MDS-T2R	UR18650P	-	3.7	7.4	4.8	4.6	35	SDS-BT-00026
CF-R3	CF-VZ5U32 CF-VZ5U32J	Sanyo	ZUR18650P-3-MDS-R3	UR18650P	-	3.7	7.4	7.2	6.9	52	SDS-BT-00026
CF-R3	CF-VZ5U32R	Sanyo	ZUR18650P-3-MDSR3C	UR18650P	-	3.7	7.4	7.2	6.9	52	SDS-BT-00026
CF-R4	CF-VZ5U42 CF-VZ5U42J	Sanyo	ZUR18650P-3-MDS-R4	UR18650P	-	3.7	7.4	7.8	7.5	56	SDS-BT-00026

CF-R4	CF-VZ5U429	Sanyo	ZUR1850F-3-MDSR4C	LR1850F	-	3,7	7,4	7,8	7,5	56	SDS-BT-00026
CF-R5/R7/R8	CF-VZ5U49	Panasonic	NCR-S/402B	NCR1850	C	3,8	7,2	5,8	5,4	39	LP-PSDS-2011-211
CF-R5/R7/R8	CF-VZ5U49J	Panasonic	NCR-S/404B	NCR1850	C	3,8	7,2	5,8	5,4	39	LP-PSDS-2011-211
CF-R9	CF-VZ5U48AJ	Panasonic	NCR-S/425A	NCR1850A	C	3,8	7,2	6,2	5,8	42	LP-PSDS-2011-211
CF-R9	CF-VZ5U4AJ	Panasonic	NCR-S/427A	NCR1850A	C	3,8	7,2	6,2	5,8	42	LP-PSDS-2011-211
CF-S5/N5/S5/N5	CF-VZ5U59J	Panasonic	NCR-S/507A	NCR1850A	C	3,8	7,2	12,4	11,8	84	LP-PSDS-2011-211
CF-S5/N5/S5/N5	CF-VZ5U60J	Panasonic	NCR-S/505A	NCR1850A	C	3,8	7,2	12,4	11,8	84	LP-PSDS-2011-211
CF-S5/N5/S5/N5	CF-VZ5U81U	Panasonic	NCR-S/505A	NCR1850A	C	3,8	7,2	12,4	11,8	84	LP-PSDS-2011-211
CF-S5/N5/S5/N5	CF-VZ5U82U	Panasonic	NCR-S/430A	NCR1850A	C	3,8	7,2	6,2	5,8	42	LP-PSDS-2011-211
CF-S5/N5/S5/N5	CF-VZ5U84U	Panasonic	NCR-S/415A	NCR1850A	C	3,8	7,2	6,2	5,8	42	LP-PSDS-2011-211
CF-S10/N10/J	CF-VZ5U55AJ	Panasonic	NCR-S/331A	NCR1850B	C	3,8	7,2	13,8	12,8	93	LP-PSDS-2011-211
CF-S10/N10/J	CF-VZ5U61AJ	Panasonic	NCR-S/325A	NCR1850B	C	3,8	7,2	13,8	12,8	93	LP-PSDS-2011-211
CF-S10/N10/J	CF-VZ5U62AJ	Panasonic	NCR-S/434A	NCR1850B	C	3,8	7,2	6,8	6,4	47	LP-PSDS-2011-211
CF-T4/T5	CF-VZ5U39	Panasonic	GGR-S/437C	GGR1850E	A	3,7	7,4	5,1	4,84	36	LP-PSDS-2011-211
CF-T4/T5	CF-VZ5U37	Panasonic	GGR-S/975G	GGR1850E	A	3,7	11,1	7,85	7,26	81	LP-PSDS-2011-211
CF-T11/N11/W11/Y11	CF-VZ5U57AJ	Panasonic	NCR-S/304G	NCR1850	C	3,8	10,8	2,9	2,7	30	LP-PSDS-2011-211
CF-T11/N11/W11/Y11	CF-VZ5U52W	Panasonic	NCR-S/304H	NCR1850	C	3,8	10,8	2,9	2,7	30	LP-PSDS-2011-211
CF-T11/N11/W11/Y11	CF-VZ5U51J	Panasonic	NCR-S/505C	NCR1850	C	3,8	10,8	5,8	5,4	39	LP-PSDS-2011-211
CF-T11/N11/W11/Y11	CF-VZ5U51AJ	Panasonic	NCR-S/505H	NCR1850	C	3,8	10,8	5,8	5,4	39	LP-PSDS-2011-211
CF-T11/N11/W11/Y11	CF-VZ5U51W	Panasonic	NCR-S/505J	NCR1850	C	3,8	10,8	5,8	5,4	39	LP-PSDS-2011-211
CF-T11/N11/W11/Y11	CF-VZ5U51R	Panasonic	NCR-S/505K	NCR1850	C	3,8	10,8	5,8	5,4	39	LP-PSDS-2011-211
CF-T11/N11/W11/Y11	CF-VZ5U51J	Panasonic	NCR-S/515E	NCR1850	C	3,8	10,8	5,8	5,4	39	LP-PSDS-2011-211
CF-U1/H1	CF-VZ5U55W	Panasonic	NCR-S/202A	NCR1850	C	3,8	7,2	2,9	2,75	20	LP-PSDS-2011-211
CF-U1/H1	CF-VZ5U53J	Panasonic	NCR-S/202C	NCR1850	C	3,8	7,2	2,9	2,7	20	LP-PSDS-2011-211
CF-U1/H1	CF-VZ5U52S	Panasonic	NCR-S/202D	NCR1850	C	3,8	7,2	2,9	2,7	20	LP-PSDS-2011-211
CF-U1/H1	CF-VZ5U53Q	Panasonic	NCR-S/202F	NCR1850	C	3,8	7,2	2,9	2,7	20	LP-PSDS-2011-211
CF-H2	CF-VZ5U53AW	Panasonic	NCR-S/205A	NCR1850B	C	3,8	7,2	3,4	3,2	23	LP-PSDS-2011-211
CF-H2	CF-VZ5U53AJ	Panasonic	NCR-S/205B	NCR1850B	C	3,8	7,2	3,4	3,2	23	LP-PSDS-2011-211
CF-VZ5U1429W/J	CF-VZ5U14B	Panasonic	OGA-E/605D	OGA105400A	A	3,7	11,1	3,8	3,4	38	LP-PSDS-2011-211
CF-VZ5U1473U	CF-VZ5U14C	Panasonic	OGA-E/621C	OGA105480A	A	3,7	11,1	3,9	3,7	42	LP-PSDS-2011-211
CF-VZ5U1430U	CF-VZ5U14D	Panasonic	OGA-E/621D	OGA105480A	A	3,7	11,1	3,9	3,7	42	LP-PSDS-2011-211
CF-W2/Y2	CF-VZ5U27A	Panasonic	GGR-S/5AREA	GGR1850D	A	3,7	7,4	7,05	6,66	50	LP-PSDS-2011-211
CF-W4	CF-VZ5U40A	Sanyo	ZUR1850F-3-MDS-8H	LR1850F	-	3,7	7,4	7,8	7,5	56	SDS-BT-00026
CF-W4	CF-VZ5U49AJ	Sanyo	ZUR1850F-3-MDSW4C	LR1850F	-	3,7	7,4	7,8	7,5	56	SDS-BT-00026
CF-W4	CF-VZ5U46AR	Sanyo	ZUR1850F-3-MDSW4C	LR1850F	-	3,7	7,4	7,8	7,5	56	SDS-BT-00026
CF-W5	CF-VZ5U47	Panasonic	NCR-S/502D	NCR1850	C	3,55	10,85	5,7	5,4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-W5	CF-VZ5U47S	Panasonic	NCR-S/502E	NCR1850	C	3,55	10,85	5,7	5,4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-Y4	CF-VZ5U41	Panasonic	GGR-S/602E	GGR1850E	A	3,7	7,4	7,85	7,26	54	LP-PSDS-2011-211
CF-Y4	CF-VZ5U41U	Panasonic	GGR-S/602E	GGR1850E	A	3,7	7,4	7,85	7,26	54	LP-PSDS-2011-211
CF-Y3/Y7/Y8/Y9	CF-VZ5U45	Panasonic	NCR-S/601D	NCR1850	C	3,55	10,85	5,7	5,4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-Y3/Y7/Y8/Y9	CF-VZ5U45U	Panasonic	NCR-S/601E	NCR1850	C	3,55	10,85	5,7	5,4	58	LP-PSDS-2011-211
CF-Y3/Y7/Y8/Y9	CF-VZ5U45R	Panasonic	NCR-S/601E	NCR1850	C	3,55	10,85	5,7	5,4	58	LP-PSDS-2011-211

Last 2 digits XX in model number "CF-VZ5Uxxxx" means the destination, where

- "R": Taiwan, China
- "R2": HongKong, China
- "Q": Taiwan
- "K": Korea
- "J", "JS": Japan
- "W": Universal except Japan or China
- "U", or "": Universal except China