



Ricerca di Sistema elettrico

# Studio sulle problematiche igienistico industriali e di caratterizzazione dei gas prodotti nel corso di prove di abuso condotte in ambienti confinati su sistemi di accumulo Litio-ione

A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna

DIPARTIMENTO DI CHIMICA



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

STUDIO SULLE PROBLEMATICHE IGIENISTICO INDUSTRIALI E DI CARATTERIZZAZIONE DEI GAS PRODOTTI NEL CORSO DI PROVE DI ABUSO CONDOTTE IN AMBIENTI CONFINATI SU SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna (Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Sistemi avanzati di accumulo dell'energia

Obiettivo: Studi di sicurezza nell'applicazione dei sistemi di accumulo elettrochimico (alta temperatura)

Responsabile del Progetto: Pier Paolo Prosini

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Studio delle problematiche connesse all'analisi degli effluenti provenienti da prove di abuso su batterie litio-ione, condotte in ambienti confinati”*

Responsabile scientifico ENEA: Cinzia Di Bari

Responsabile scientifico Università di Roma: Alessandro Bacaloni.

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	5
2.1 RASSEGNA BIBLIOGRAFICA.....	5
2.2 ANALISI DEGLI AGENTI CHIMICI AERODISPERSI: GENERALITÀ SULLE TECNICHE DI CAMPIONAMENTO E SUI METODI ANALITICI UTILIZZABILI NEL CORSO DI PROVE DI ABUSO.....	6
2.3 EFFETTUAZIONE DI PROVE PRELIMINARI.....	10
2.4 SCELTA DELLE MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI.....	10
2.5 CONSIDERAZIONI IGIENISTICHE E TOSSICOLOGICHE.....	14
3 CONCLUSIONI.....	18
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	19
APPENDICE: CURRICULA DEI COMPONENTI IL GRUPPO DI STUDIO.....	22

## Sommario

La composizione di partenza delle batterie Li-ione e dei prodotti generati da abuso, accidentale o provocato, sino all'incendio o esplosione, è presa in esame da una serie di lavori pubblicati, consultati nelle fasi preliminari di questa ricerca. In realtà, le batterie oggetto di questi studi sono estremamente disomogenee fra loro e non sono pertanto reperibili dati e procedure operative confrontabili, che vadano dall'apertura delle celle, alla raccolta di campioni (nello stato aerodisperso o di residuo solido) alle tecniche analitiche o comunque valutative.

Gran parte dei lavori consultati (vedi riferimenti bibliografici) riferiscono composizioni semiquantitative degli aerodispersi prodotti da differenti prove di abuso, principalmente CO<sub>2</sub>, con contributi significativi di CO, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>. Una percentuale minore di autori riferisce (in funzione delle diverse tipologie di celle e di abuso/danneggiamento) presenza di idrocarburi C<sub>2</sub> – C<sub>4</sub>, di HF, NO, SO<sub>2</sub> e HCl, definendoli perlopiù "fumi" in modo erraneo, trattandosi di specie allo stato gassoso (si rammenta che per "fumi" va inteso particolato aerodisperso – aerosol – allo stato liquido o solido generato da combustioni anche incomplete).

Inoltre, in genere non è presente una stima anche approssimata delle concentrazioni di aerodispersi che si possono verificare in ambienti confinati, con connessa valutazione del rischio espositivo per le persone professionalmente esposte e per gli utilizzatori finali.

Infine, la generazione e la natura chimica dei residui solidi da prove di abuso o da incidenti è stata piuttosto negletta, quando, in realtà, l'interesse sarebbe duplice, sia dal punto di vista igienistico e ambientale che relativamente ad aspetti collegabili ai rischi nelle attività di recupero/riciclo connesse alla gestione della fine-vita dei dispositivi di accumulo.

Il progetto complessivo fa riferimento a tre tipi di prove per studiare la vulnerabilità e i punti deboli delle batterie litio ione e come esse reagiscono in tre diverse condizioni di abuso: termico, meccanico ed elettrico. Mediante l'abuso meccanico si mira a valutare la robustezza e la sicurezza di una batteria in caso di impatto con oggetti esterni, piegatura, foratura, eccetera. Mentre mediante l'abuso elettrico si ha come fine quello di valutare le prestazioni di sicurezza della batteria ossia analizzando l'attivazione dei dispositivi di sicurezza all'interno del sistema Litio-ione, come per esempio il BMS o il CID, i quali sono dispositivi di interruzione a livello della cella che limitano o interrompono il passaggio di corrente. Infine mediante l'abuso termico si tende a valutare i cambiamenti del pacco batteria derivanti da cambiamenti estremi e repentini di temperatura, sino all'incendio. Nelle prove ad oggi effettuate, si è proceduto alla caratterizzazione, con i metodi descritti nel testo, di una cella vergine e dei residui di una batteria incendiata.

L'analisi della cella vergine serve come "punto zero" per poter stimare i cambiamenti conseguenti alle prove di abuso; naturalmente l'interesse specifico della ricerca è volto alla caratterizzazione dei residui di batterie incendiate o danneggiate. I problemi di campionamento sono complessi poiché la disomogeneità dei campioni raccolti comporta un gran numero di analisi ma anche una incertezza ineliminabile sui risultati sia qualitativi (possibilità di contaminazioni da materiale estraneo) ma soprattutto quantitativi (alterazioni dei rapporti fra i componenti, anche per perdita di parte del materiale aerodisperso). Come detto, nel caso della cella vergine siamo ad una sorta di "punto zero", nella batteria incendiata siamo all'estremo di una serie di possibilità di "abuso", da studiare separatamente.

Dal punto di vista igienistico, le prove effettuate hanno evidenziato come, oltre agli effluenti gassosi, siano possibili immissioni in aria di particolato con caratteristiche tossicologiche rilevanti per la salute degli eventuali esposti, occasionali e non.

Pertanto, si ritiene che l'attività da prevedere successivamente dovrebbe fra l'altro, comprendere:

- il campionamento e la determinazione degli effluenti gassosi prodotti durante le prove di abuso in camera ad atmosfera controllata o in situazioni di ambiente semiconfinato;
- il campionamento di particolato aerodisperso, nelle stesse condizioni, anche in funzione delle dimensioni delle batterie sottoposte a prove di abuso;

- valutazione igienistica dei dati ottenuti, con stima del rischio espositivo di addetti o attori, stesura di procedure per utilizzo e manutenzione in sicurezza delle batterie, per eventuali situazioni anomale o di emergenza, tutela della salute e sicurezza di operatori professionalmente esposti (fabbricanti, manutentori, addetti allo smaltimento, ecc.) e degli utilizzatori finali.

Questa è anche la ragione per cui nel gruppo di ricerca confluiscono competenze complementari, come visibile in appendice.

## 1 Introduzione

In questo documento vengono presentate le attività di ricerca connesse all'Accordo di collaborazione relativo ad uno studio finalizzato all'analisi degli effluenti (gassosi e non) generati nel corso di prove di abuso – anche distruttive - condotte su sistemi di accumulo Litio-ione di diverse tipologie; di conseguenza, verranno scelte ed adattate procedure di campionamento ed analisi specifiche.

Lo scopo finale è di individuare e caratterizzare gli effluenti come sopra definiti sia in ambienti confinati (rappresentativi di situazioni professionali di prove per produzione, controllo qualità o recupero materiali; dello *storage* domestico di energia prodotta con fonti rinnovabili, dei locali accumulatori, ecc.) sia in ambienti semiconfinati, più plausibili in caso di occasionali abuso/incidente/distruzione delle celle.

Sarà pertanto possibile acquisire informazioni utili per futuri sviluppi di misure di contenimento dei rischi, sia preventive (anche in sede di progettazione o produzione) che di protezione (procedure di comportamento e intervento in caso di incidenti o simili)

## 2 Descrizione delle attività svolte

### 2.1 Rassegna bibliografica

La rassegna bibliografica ha fornito diverse indicazioni sulla composizione di partenza delle batterie Li-ione e sui prodotti generati da abuso, accidentale o provocato, sino all'incendio o esplosione. Il problema è che le batterie prese in esame sono di tipologia e dimensione estremamente variegata (spesso non di applicazione "automotive") e non ci sono procedure operative omogenee o paragonabili, che vadano dall'apertura delle celle, alla raccolta di campioni (nello stato aerodisperso o di residuo solido) alle tecniche analitiche o comunque valutative.

Gran parte dei lavori consultati (visibili in bibliografia) riferiscono composizioni semiquantitative degli aerodispersi prodotti da differenti prove di abuso, principalmente CO<sub>2</sub>, con contributi significativi di CO, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>. Una percentuale minore di autori riferisce (in funzione delle diverse tipologie di celle e di abuso/danneggiamento) presenza di idrocarburi C<sub>2</sub> – C<sub>4</sub>, di HF, NO, SO<sub>2</sub> e HCl, definendoli perlopiù "fumi" in modo erroneo, trattandosi di specie allo stato gassoso (si rammenta che per "fumi" va inteso particolato aerodisperso – aerosol – allo stato liquido o solido generato da combustioni anche incomplete).

Inoltre, in genere non è presente una stima anche approssimata delle concentrazioni di aerodispersi che si possono verificare in ambienti confinati, con connessa valutazione del rischio espositivo per le persone, siano esse occasionalmente o professionalmente esposte; anche le metodiche analitiche utilizzate appaiono perlopiù indirizzate alla determinazione di singoli prodotti di combustione, non direttamente collegabili ad effetti o situazioni rappresentative del complesso delle reazioni occorse.

Non si è riscontrata, ad ora, una altrettanto esauriente quantità di studi relativi alla generazione ed alla natura chimica dei residui solidi da prove di abuso o da incidenti; in realtà, l'interesse sarebbe duplice:

- dal punto di vista igienistico e ambientale (gli aerosol prodotti avrebbero potenziali effetti vuoi sugli esposti, più o meno accidentali, vuoi come ricaduta nell'ambiente, in modo più circoscritto dei prodotti gassosi ma eventualmente più concentrato);
- dal punto di vista delle metodiche di recupero/riciclaggio dei materiali (in questo caso, la bibliografia raccolta è abbondante, pur con tutte le differenziazioni sopra ricordate, ma sono scarsi i riferimenti ai rischi espositivi agli effluenti per gli operatori di queste attività).

## 2.2 *Analisi degli agenti chimici aerodispersi: generalità sulle tecniche di campionamento e sui metodi analitici utilizzabili nel corso di prove di abuso*

La determinazione (identificazione e misura) di contaminanti chimici aerodispersi consta essenzialmente di due fasi consecutive, il campionamento e l'analisi. Anche quando le due fasi appaiono senza soluzione di continuità (ad esempio, in strumentazioni a lettura continua) va rimarcata la separazione dei due momenti: poiché la fase di campionamento è necessariamente propedeutica a quella di analisi, ne consegue che gli eventuali errori commessi in questa fase si ripercuoteranno necessariamente (e negativamente) sull'intero processo; inoltre, il campionamento è affetto solitamente da fonti di errore più importanti ed insidiose rispetto a quelle che possono occorrere durante l'analisi, e, di conseguenza, esso rappresenta il passaggio più critico e delicato nell'accertamento tecnico dell'esposizione.

*Non vi è accuratezza e precisione di analisi che possano ovviare ad un campionamento non corretto.*

I principi generali del campionamento sono gli stessi per tutti gli agenti chimici aerodispersi; è importante, a questo punto e per potere utilmente seguire lo svolgimento del tema in oggetto, definire schematicamente gli inquinanti chimici aerodispersi in base allo stato fisico, che è quello che determina l'assorbimento per via inalatoria:

- Aeriformi (gas e vapori)
- Aerosol o particolato aerodisperso (polveri, fumi e nebbie)

Nel caso degli *aeriformi* siamo in presenza di un solo stato della materia (gassoso): abbiamo quindi una miscibilità completa fra l'inquinante e l'atmosfera, in obbedienza alle leggi della diffusione dei gas, e un'unica fase.

Quando si è in presenza di *aerosol* osserviamo la coesistenza di due (o più) stati della materia: in particolare, si realizza una dispersione di almeno una fase liquida o solida nella fase gassosa costituita dall'atmosfera. Nel caso di una aerodispersione stabile di particelle solide parleremo di polveri o fumi; se si tratta di particelle liquide, avremo delle nebbie.

La differenza tra le polveri e fumi consiste nella loro origine: le polveri sono generate da una azione meccanica su un corpo solido (di origine naturale o, in ambito lavorativo, artificiale, quali, ad esempio, operazioni di taglio, macinazione, levigatura, trattamenti superficiali, ecc.); i fumi provengono invece da reazioni chimiche o passaggi di stato, quali combustioni più o meno complete, condensazioni successive a vaporizzazione, ecc.. La conseguenza evidente di tale differenza di origine è che le polveri avranno la stessa composizione chimica del materiale di origine, mentre per i fumi ovviamente ciò non accadrà. La differenza è estremamente importante dal punto di vista tossicologico: le polveri avranno infatti le stesse proprietà tossicologiche del materiale di origine, mentre i fumi avranno proprietà tossicologiche differenti da quelle dei componenti coinvolti nelle reazioni dalle quali si sviluppano e, pertanto, queste proprietà potrebbero non essere note facilmente, in tutto o in parte.

### Campionamento di aeriformi

Dal punto di vista dell'igiene del lavoro, la differenza fra gas e vapori non è di fondamentale importanza, in quanto il meccanismo di assorbimento per via inalatoria è il medesimo nei due casi. Alla base della valutazione del rischio nel caso di esposizione agli aeriformi, anche per quanto in precedenza esposto, si pone l'accertamento strumentale delle concentrazioni di esposizione.

Il campionamento di gas e vapori può essere realizzato mediante sistemi diretti o indiretti. Il campionamento diretto comporta il prelievo di un certo volume di aria ambiente, che viene introdotta



come tale (cioè senza alcun trattamento) in un adatto contenitore che può essere in vetro, in metallo, in plastica. Il recipiente viene quindi portato in laboratorio dove l'aria viene estratta tutta o in parte per essere analizzata. In genere il prelievo viene eseguito in tempi brevi per cui il metodo consente di rilevare la concentrazione degli inquinanti in un dato istante. Viene anche definito prelievo istantaneo, dato utile nel caso di valutazione di esposizioni di picco o di breve durata.

Nel campionamento indiretto un volume misurato d'aria viene fatto fluire attraverso un adatto sistema di captazione (substrato di raccolta) che scelto in relazione alle caratteristiche degli aeriformi, è in genere costituito da una soluzione o un liquido assorbente o da un solido adsorbente. Il substrato, a fine campionamento viene portato in laboratorio per l'analisi; in questa maniera si realizza una concentrazione dell'inquinante sul substrato e, poiché la durata del prelievo può essere notevolmente prolungata (in funzione delle caratteristiche di collezione del substrato), i metodi indiretti permettono l'ottenimento di valori medi di concentrazione nel tempo, anche a livelli di concentrazione molto bassi.

Infine esistono analizzatori automatici (per determinazioni semiistantanee o in continuo) nei quali le fasi di prelievo e di analisi sono pressoché contemporanee, pur se concettualmente separate. Tali apparecchiature vengono prevalentemente impiegate per il controllo dell'inquinamento atmosferico o trovano in genere impiego nelle indagini di igiene industriale solo per esigenze specifiche.

Il prelievo deve essere in grado di raccogliere un campione d'aria rappresentativo della situazione che si vuole indagare e pertanto, oltre alle condizioni generali in precedenza descritte, devono essere definiti e misurabili i suoi parametri che sono: il flusso volumetrico (o portata), la durata, il volume d'aria campionato.

Le attrezzature necessarie per effettuare un prelievo di campione d'aria sono diverse a seconda che il campionamento sia di tipo diretto o indiretto. Si possono distinguere in:

- contenitori per campionamenti diretti,
- linee di prelievo per campionamenti indiretti

Queste ultime presentano maggiore complessità, essendo costituite, come schema base, da una sequenza substrato campionante/contatore volumetrico di gas o flussimetro/pompa aspirante. Attualmente esistono in commercio sistemi completi, sui quali montare soltanto l'adatto substrato, adattabili ad un ampio range di condizioni operative (flusso, tempo programmabile di campionamento, ecc.) e dotati di sistemi di controllo per l'eliminazione perlomeno parziale di fonti di errore (indicazione di variazioni di flusso, interruzioni precoci, ecc.). Ma il progresso fondamentale in questo campo è stato quello della miniaturizzazione della componentistica che ha permesso lo sviluppo di campionatori estremamente versatili e di dimensioni ridotte.

L'analisi degli inquinanti collezionati, come accennato, fa ricorso necessariamente alle più moderne tecniche analitiche, oggi comunque diffusamente disponibili. Di norma, il campione viene portato in laboratorio, dove l'inquinante da analizzare (analita) è riestratto dal substrato con opportune tecniche, specifiche per ogni sostanza; questo passaggio è critico, in quanto perdite o alterazioni dell'analita condurrebbero ad una irreparabile sottostima dello stesso. È importante che sia nota la percentuale di recupero dell'analita prevista dalla metodica (già validata) ed è consigliabile che i metodi analitici utilizzati prevedano il minor numero possibile di trattamenti del campione, costituendo ciascuno di essi una fonte potenziale di errore. Nel caso della strumentazione a lettura diretta (così come nell'utilizzo di fiale rivelatrici) l'analisi viene eseguita direttamente sul campo, con il vantaggio di minimizzare i passaggi analitici ed eliminare eventuali problemi di conservazione del campione; com'è ovvio, vanno tenuti presenti però i limiti – temporali, di sensibilità e di rappresentatività - di tali sistemi di rilevazione.

### Campionamento di aerosol

I prelievi di aerosol sono condotti sfruttando diversi principi. Innanzitutto occorre scegliere il parametro da utilizzare in funzione della necessità di valutare l'inquinamento ambientale esterno o interno in luoghi di lavoro o nel corso di prove sperimentali. Tenendo presente le proprietà del materiale aerodisperso, si avrà che la stima dello spettro granulometrico di interesse ricavato sarà diverso a seconda della tipologia di apparecchiature usate. Ciò presuppone una preventiva e approfondita valutazione delle informazioni che interessano l'operatore, poiché la scelta di un sistema di prelievo fondato su un

determinato principio fisico comporta che la determinazione analitica sia poi dipendente dai parametri caratteristici di quel sistema.

I vari sistemi di prelievo si possono raggruppare come segue in base ai principi su cui sono fondati :

- 1) Sedimentazione, gravità o centrifugazione
- 2) Filtrazione
- 3) Inerzia
- 4) Precipitazione elettrostatica
- 5) Precipitazione termica
- 6) Prelievo isocinetico
- 7) Apparecchiature ottiche

La necessità di ottemperare all'individuazione ed alla valutazione di piccolissime concentrazioni di sostanze, tenendo conto delle possibili interferenze dovute ai costituenti presenti nel campione in esame, nonché di ottenere risultati riproducibili, quindi confrontabili, ha portato ad utilizzare le tecniche analitiche e le metodologie più moderne mediante l'ausilio di strumentazioni sempre più sofisticate.

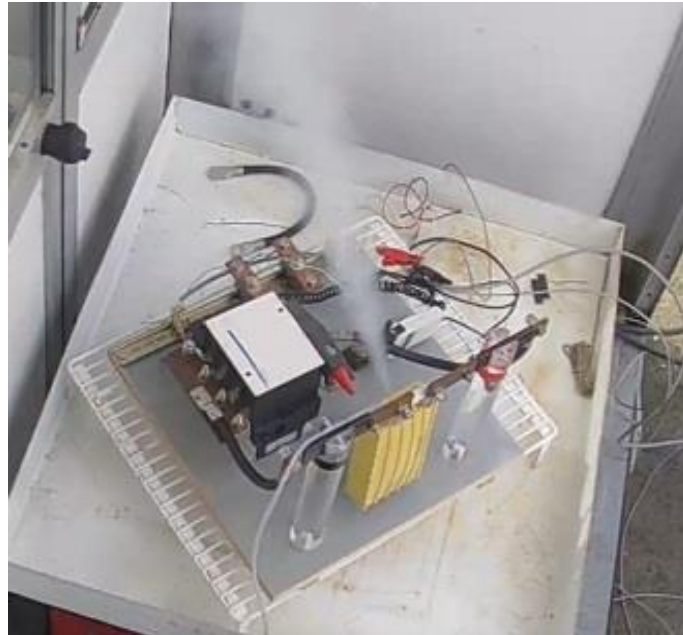
A seconda del tipo di inquinante da determinare potrà essere necessario conoscere la quantità di un dato elemento chimico (es. Pb, Cd, Si, ecc.) o la sua concentrazione ponderale in aria o lo spettro granulometrico del particolato aerodisperso.

A scopo esemplificativo, dalle immagini successive, relative a precedenti prove condotte in ambiente non confinato (figg. 1-3), si evince come sia opportuno che i sistemi di campionamento debbano essere in grado di catturare sia fumi (la parte visibile degli effluenti) sia aeriformi (non visibili), quindi due diverse linee di campionamento; inoltre la presumibile breve durata delle reazioni in analisi (minuti) condiziona caratteristiche di flusso, portata e, di conseguenza, sensibilità, della procedura. Per prove condotte in ambiente confinato o camera climatica, la persistenza e le concentrazioni degli aerodispersi prodotti – pur a parità di natura chimica – obbligherà a rimodulare tempi e modalità di campionamento, se non addirittura tipologia di strumentazione.



Figura 1 Aerosol emessi dalla cella a seguito di riscaldamento con fiamma.





**Figura 2** Aerosol emessi dalla cella a seguito di cortocircuito esterno.



**Figura 3** Aerosol emessi dalla cella a seguito di overcharge.

### 2.3 Effettuazione di prove preliminari

Il progetto complessivo fa riferimento a tre tipi di prove per studiare la vulnerabilità e i punti deboli delle batterie litio ione e come esse reagiscono in tre diverse condizioni di abuso: termico, meccanico ed elettrico. Mediante l'abuso meccanico si mira a valutare la robustezza di una batteria in caso di improvvisa accelerazione o decelerazione, nel caso in cui il veicolo elettrico sia sottoposto ad un impatto frontale o laterale, o addirittura simulando l'immersione in acqua della batteria. Mentre mediante l'abuso elettrico si ha come fine quello di valutare le prestazioni di sicurezza della batteria ossia analizzando l'attivazione dei dispositivi di sicurezza all'interno della LiBs come per esempio il BMS o il CID, i quali sono dispositivi di interruzione a livello della cella che limitano o interrompono il passaggio di corrente. Infine mediante l'abuso termico si tende a valutare i cambiamenti del pacco batteria derivanti da cambiamenti estremi e repentini di temperatura, sino all'incendio. Nelle prove ad oggi effettuate, si è proceduto alla caratterizzazione, con i metodi appresso descritti, di una cella vergine e dei residui di una batteria incendiata.

Al fine di mettere a punto sia le tecniche di campionamento che quelle di analisi, sono state effettuate alcune prove preliminari su materiali forniti dal referente scientifico dell'ENEA: una cella vergine EiG C020 (utilizzata anche nella realizzazione di veicoli Microvett, oggi fuori produzione); i residui della combustione di celle VL41M della Saft facente parte di una batteria sottoposta a prova di abuso elettrico (*over-voltage*) andata in incendio.

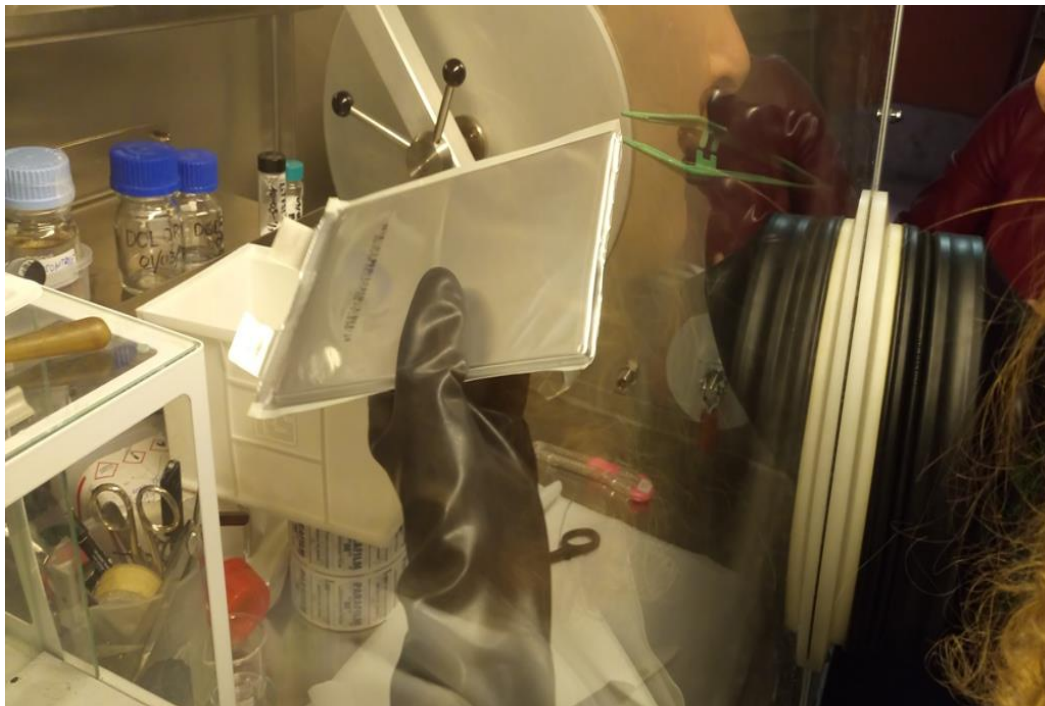
### 2.4 Scelta delle modalità di campionamento e analisi

L'analisi della cella vergine (EiG modello C020) ha comportato la messa a punto di una procedura specifica provvisoria per la sua apertura (Figura 4 e Figura 5), che per motivi di sicurezza va effettuata a batteria scarica (Figura 6) e in Glove-Box.

La procedura e le condizioni che hanno portato alla sua formulazione sono descritte dettagliatamente in altro progetto: nel nostro caso quei dati serviranno come punto di partenza (conoscere le caratteristiche chimiche della cella prima delle prove di abuso), ma lo scopo della ricerca è lo studio degli effluenti in corso di svolgimento delle prove stesse.

I campioni relativi ai residui di una batteria incendiata sono stati caratterizzati mediante 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. L'apparecchiatura utilizzata è equipaggiata con sonda EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometry, spettrometria di diffrazione da retrodiffusione elettronica). Tale sonda si può usare, fra l'altro, utilizzando tecniche complementari, per identificazioni fisico-chimiche (appunto per accoppiamento diffrazione elettronica/microscopia elettronica a trasmissione) in modo da aggiungere all'analisi morfologica la caratterizzazione della natura chimica mediante analisi elementare delle superfici esaminate.

I problemi di campionamento risultano complessi poiché la disomogeneità dei campioni raccolti comporta un gran numero di analisi, ma anche una incertezza ineliminabile sui risultati qualitativi (possibilità di contaminazioni da materiale estraneo) e soprattutto quantitativi (alterazioni dei rapporti fra i componenti, anche per perdita di parte del materiale aerodisperso). È evidente che, mentre nel caso della cella vergine siamo ad una sorta di "punto zero", nella batteria incendiata (Figura 7 e Figura 8) siamo all'estremo di una serie di possibilità di "abuso", da studiare separatamente.



**Figura 4** Apertura cella vergine in Glove-Box.

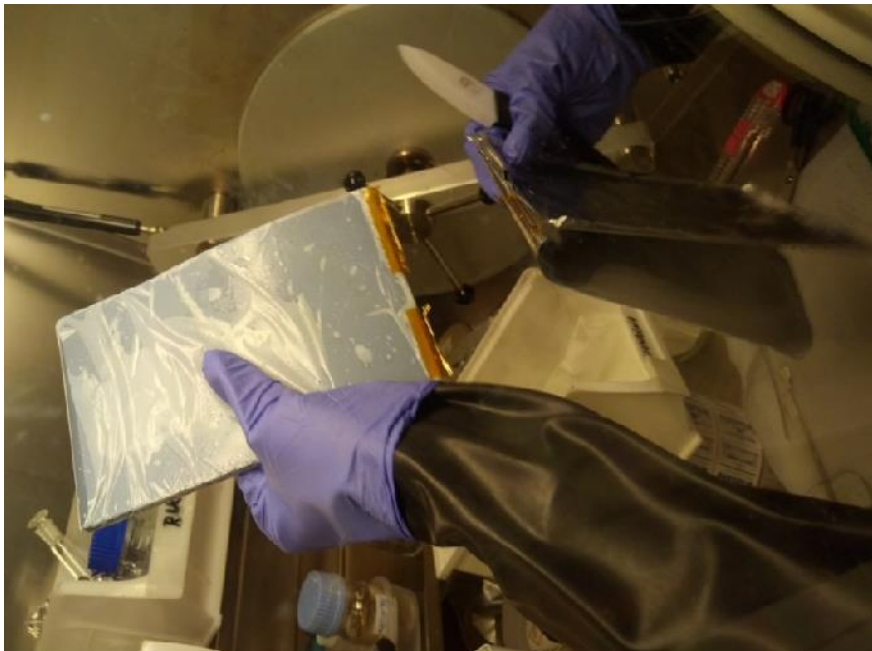


Figura 5 Apertura cella vergine in Glove-Box.

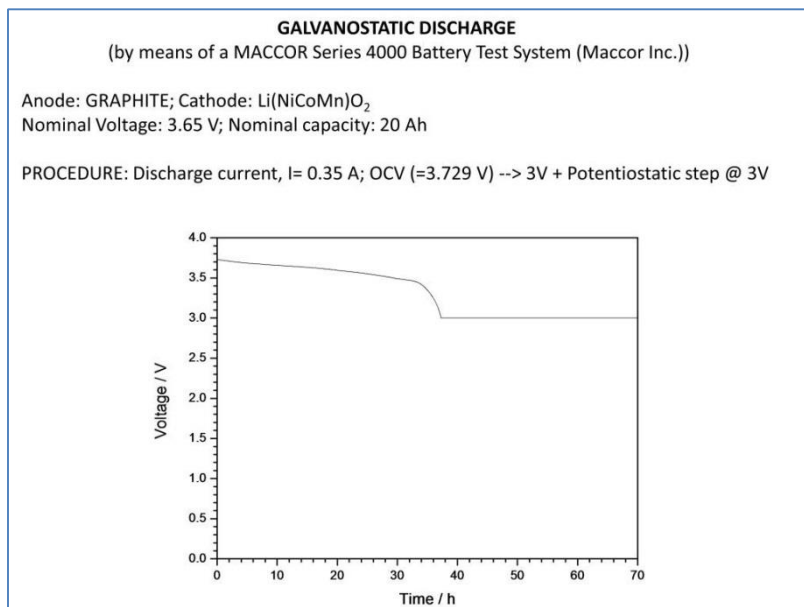


Figura 6 Diagramma di scarica della cella vergine EiG modello C020.





**Figura 7** Batteria incendiata, punti di prelievo campioni.



**Figura 8** Batteria incendiata, punti di prelievo campioni.

## 2.5 Considerazioni igienistiche e tossicologiche

Dal punto di vista igienistico, le prove sin qui effettuate hanno evidenziato come, oltre agli effluenti gassosi, siano possibili immissioni in aria di particolato con caratteristiche tossicologiche rilevanti per la salute degli eventuali esposti, occasionali e non.

L'analisi morfologica dei residui della batteria incendiata evidenzia particelle di dimensioni di pochi micrometri ( $< 10 \mu\text{m}$ , vedi immagini al SEM Figura 9 e Figura 10) che, anche se non direttamente rapportabili al "diametro aerodinamico", possono dare origine in determinate condizioni ad aerosol cosiddetti "respirabili", in grado cioè di penetrare nel tratto respiratorio profondo (alveolare) più sensibile a danni, anche indipendentemente dalla natura chimica del particolato stesso.

Addirittura, in Figura 11 relativa al campione 2b, il materiale esaminato ha un evidente aspetto fibroso (magari non con una struttura cristallina definita, probabilmente dovuto alle alte temperature raggiunte) con diametri apparenti delle fibre generabili di pochi micrometri. In base al contenuto al contenuto in  $\text{SiO}_2$ , comunque presente, e di ossidi alcalini (Figura 12) il particolato aerodisperso generato può presentare caratteristiche di tossicità rilevanti.

Questo comporterebbe, tra l'altro, un particolare adattamento delle tecniche analitiche degli effluenti aerodispersi che permetta di conteggiare la concentrazione in numero di particelle (in questo caso definibili "fibre") per volume di aria, con ulteriori complicazioni metodologiche e valutative.

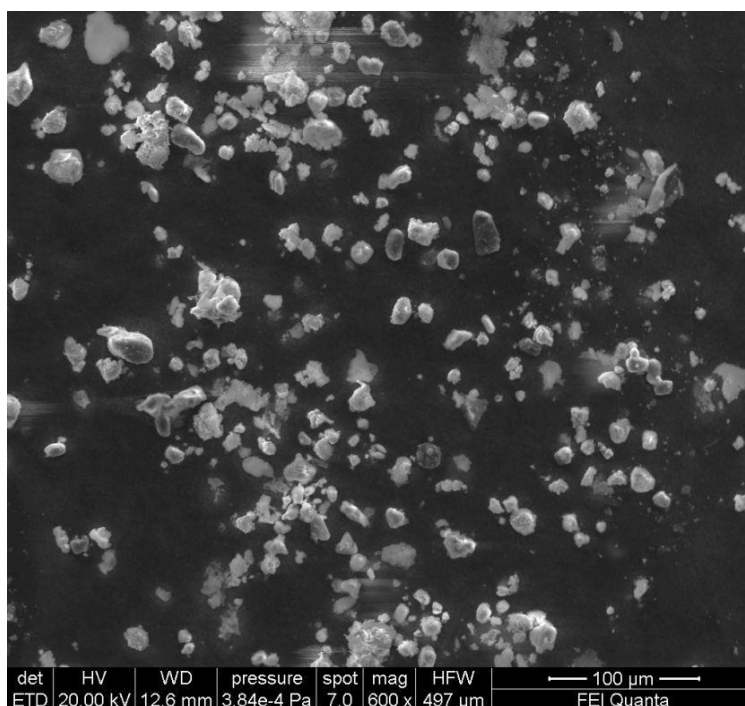
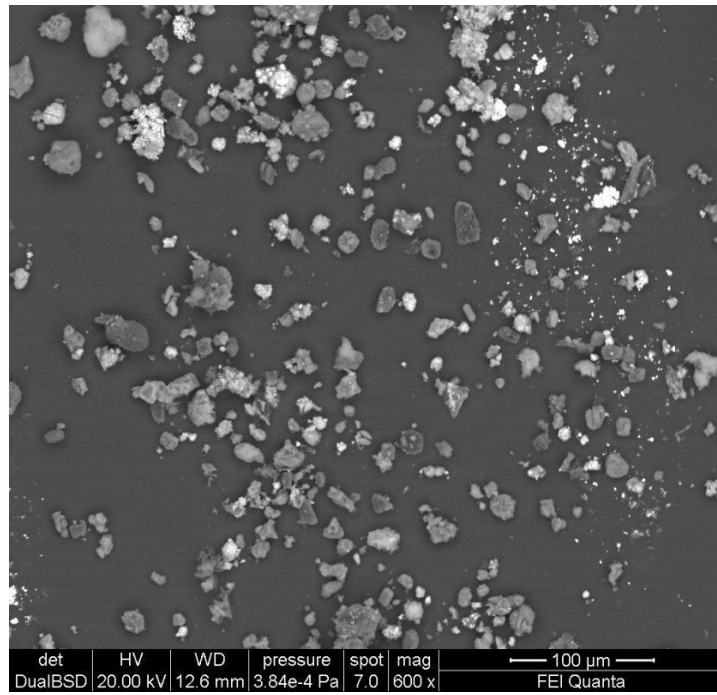
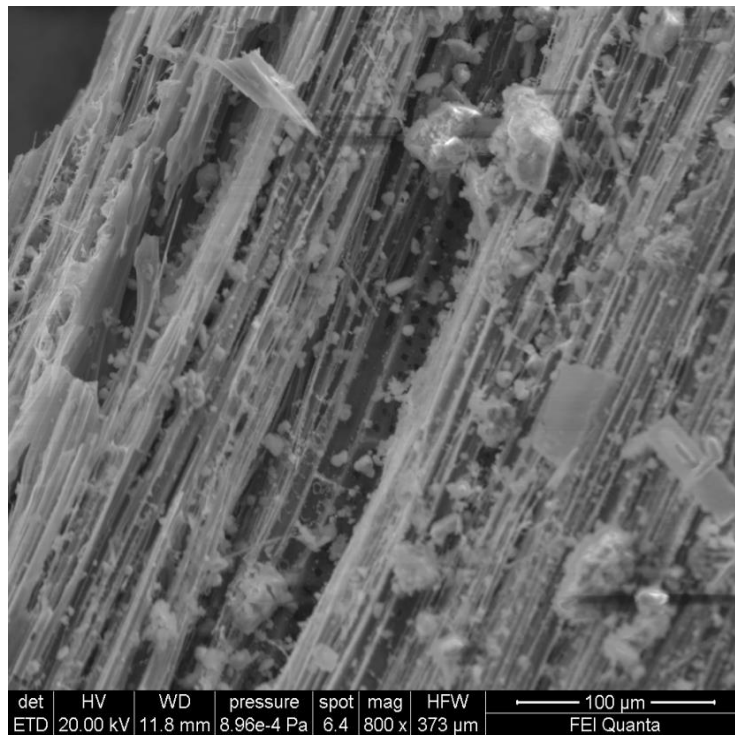


Figura 9 Residui della batteria incendiata. Immagine SEM-ETD.





**Figura 10** Residui della batteria incendiata. Immagine SEM-BSD.



**Figura 11** Residui batteria incendiata, campione 2B. Immagine SEM-ETD.

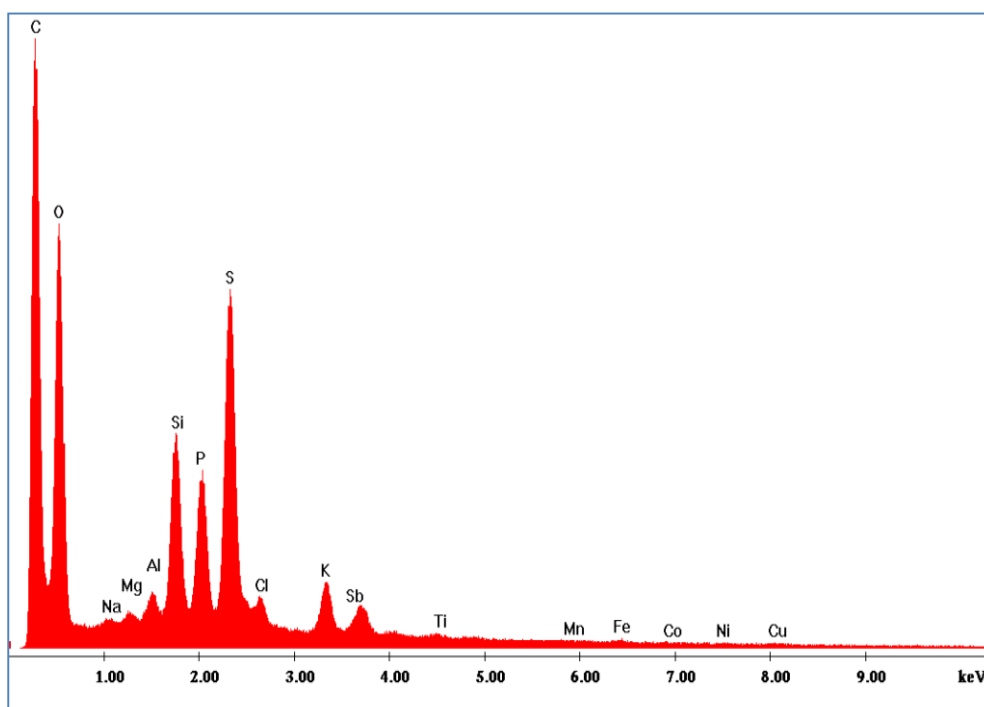
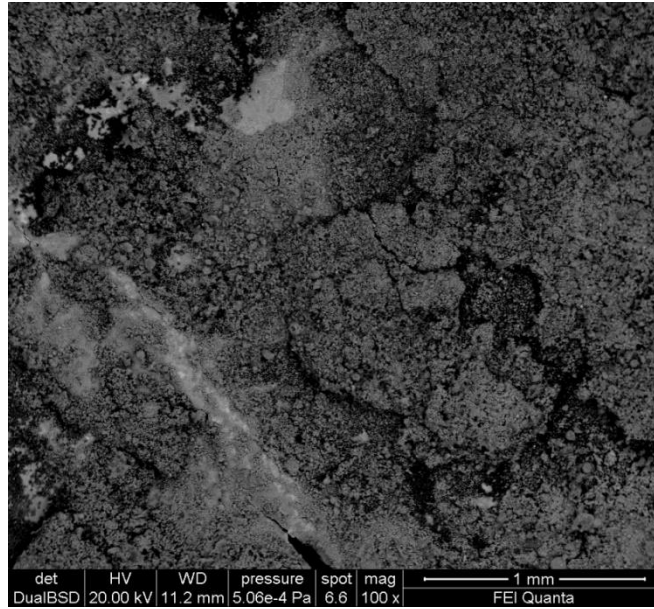
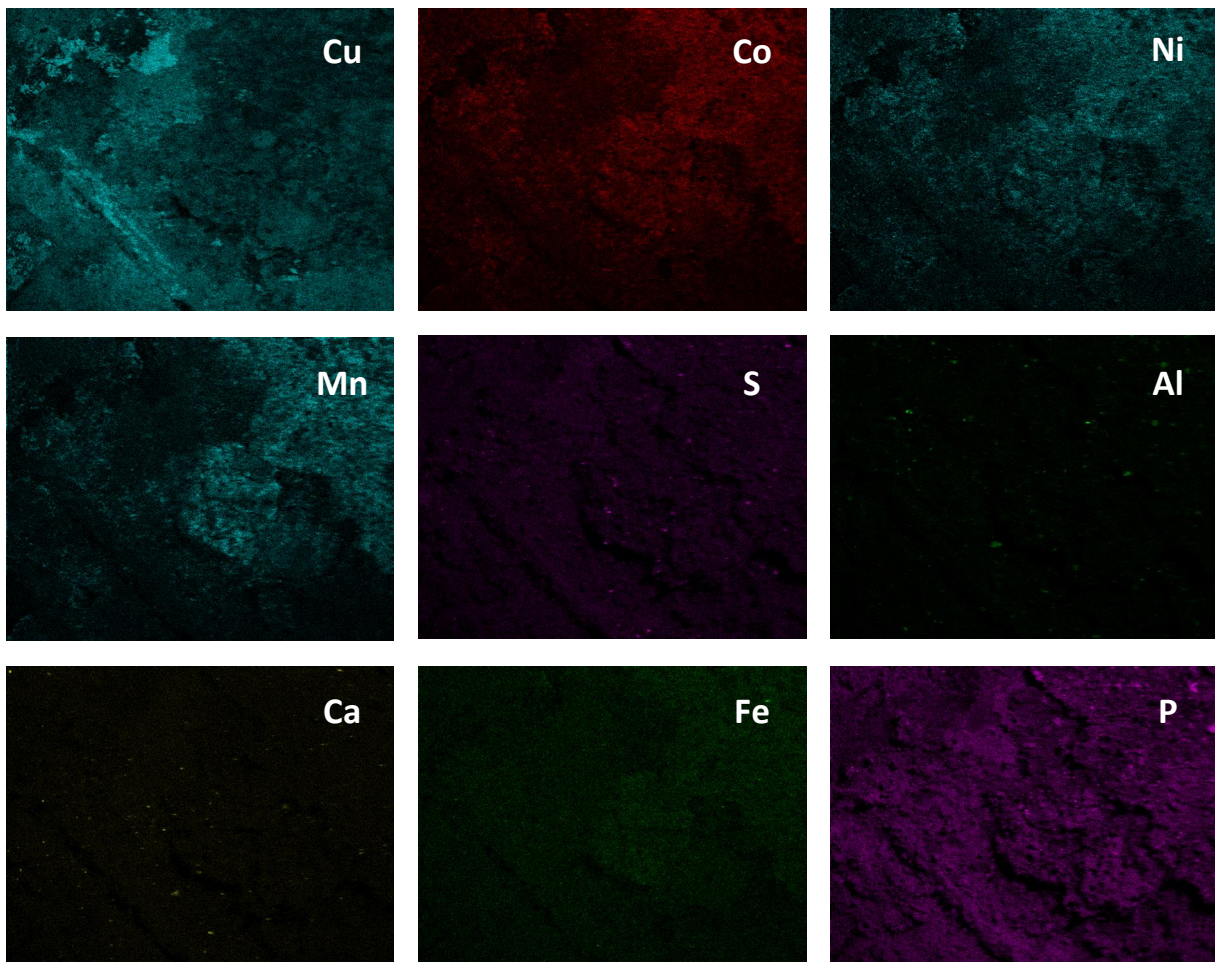


Figura 12 Residui batteria incendiata, campione 2B. Analisi microscopica SEM-EDS.

Nelle immagini successive è visibile la mappatura degli elementi dei residui della batteria incendiata realizzata al SEM/EDS (Figura 13 e Figura 14): rame, cobalto, nichel, manganese, zolfo, alluminio, calcio, ferro e fosforo.



**Figura 13** Residui della batteria incendiata. Immagine SEM-BSD.



**Figura 14** Mappatura elementi residui della batteria incendiata. Immagine SEM.

### 3 Conclusioni

I risultati preliminari ottenuti appaiono coerenti con gli scopi della ricerca e le tecniche analitiche utilizzate sono idonee al suo proseguimento; le informazioni ricavate permettono già ora la scelta delle tecniche di campionamento opportune per il completamento della ricerca, mentre l'adozione di una ulteriore tecnica analitica (appresso citata) completerà le informazioni ottenibili per la caratterizzazione degli effluenti gassosi e non generati dalle prove di abuso, sperimentali o di collaudo in fase produttiva.

L'attività da prevedere successivamente dovrebbe pertanto comprendere:

- il campionamento e la determinazione degli effluenti gassosi prodotti durante le prove di abuso in camera ad atmosfera controllata con strumenti a lettura diretta e/o captazione degli stessi su trappola e successiva determinazione analitica in laboratorio;
- il campionamento di particolato aerodisperso per captazione su filtro, nelle stesse condizioni, e successiva determinazione analitica in laboratorio, mediante ICP/MS per caratterizzazione qualitativa e quantitativa (questo permetterebbe, fra l'altro, l'affinamento della determinazione quantitativa degli elementi evidenziati in figura 11; data la elevata tossicità di alcuni l'accertamento del rischio è doveroso);
- eventuale ripetizione delle stesse prove, sia in ambiente indoor o semiconfinato (campo prove) anche in funzione delle dimensioni delle batterie sottoposte a prove di abuso;
- valutazione igienistica dei dati ottenuti, con stima del rischio espositivo di addetti o consumatori, stesura di procedure per utilizzo e manutenzione in sicurezza delle batterie, per eventuali situazioni anomale o di emergenza, tutela della salute e sicurezza di operatori professionalmente esposti (fabbricanti, manutentori, addetti allo smaltimento, ecc.);
- Sono disponibili presso il Dipartimento di Chimica sistemi di campionamento per aerosol/aeriformi (linee con pompe aspiranti a flusso medio/alto o basso) dotate di trappole specifiche per tipologia di inquinante aerodisperso;
- Sono disponibili presso lo stesso Dipartimento apparecchi a lettura diretta per aeriformi, basati su differenti principi (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, ecc.);
- Sono disponibili strumentazioni analitiche per la determinazione dei campioni raccolti come sopra (gascromatografi GC/MS, GC/FID, sistemi ICP/MS, microscopia elettronica già utilizzata nelle prove preliminari presentate);
- È prevista l'acquisizione di un sistema di monitoraggio ottico di aerosol a lettura diretta (contaparticelle con determinazione dello spettro granulometrico sino a 12 frazioni diverse);
- è già disponibile presso l'ENEA una camera "climatica" ad atmosfera controllata (mod. ATT DY 1200 CEX) da utilizzare per le prove suddette (Figura 15). Insieme ai tecnici ENEA, sono in corso attività di verifica delle potenzialità di tale apparecchiatura.





Figura 15 Camera climatica ad atmosfera controllata (mod. ATT DY 1200 CEX).

## 4 Riferimenti bibliografici

1. R. Spotnitz, J. Franklin, "Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells", *J. Power Sources*. 113 (2003) 81–100. doi:10.1016/S0378-7753(02)00488-3.
2. E.P. Roth, C.C. Crafts, D.H. Doughty, J. McBreen, "Advanced technology development program for lithium-ion batteries : thermal abuse performance of 18650 Li-ion cells.", Albuquerque, NM, and Livermore, CA, 2004. doi:10.2172/918751.
3. Q. Wang, J. Sun, G. Chu, "Lithium Ion Battery Fire And Explosion", *Fire Saf. Sci.* 8 (2005) 375–382. doi:10.3801/IAFSS.FSS.8-375.
4. S.-W. Eom, M.-K. Kim, I.-J. Kim, S.-I. Moon, Y.-K. Sun, H.-S. Kim, "Life prediction and reliability assessment of lithium secondary batteries", *J. Power Sources*. 174 (2007) 954–958. doi:10.1016/j.jpowsour.2007.06.208.
5. P. Ribière, S. Grugeon, M. Morcrette, S. Boyanov, S. Laruelle, G. Marlair, "Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry", *Energy Environ. Sci.* 5 (2012) 5271–5280. doi:10.1039/C1EE02218K.
6. A.W. Golubkov, D. Fuchs, J. Wagner, H. Wilsche, C. Stangl, G. Fauler, G. Voitic, A. Thaler, V. Hacker, "Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes", *RSC Adv.* 4 (2014) 3633–3642. doi:10.1039/C3RA45748F.
7. F. Larsson, B.-E. Mellander, "Abuse by External Heating, Overcharge and Short Circuiting of Commercial Lithium-Ion Battery Cells", *J. Electrochem. Soc.* 161 (2014) A1611–A1617. doi:10.1149/2.0311410jes.
8. N. Ponchaut, F. Colella, K. Marr, Q. Horn, "Thermal Runaway and Safety of Large Lithium-Ion Battery Systems Single Cell Failure", in: *Battcon International Stationary Battery Conference*, Exponent Inc. Natick, Orlando, FL, 2015: pp. 1–10.

9. A.W. Golubkov, S. Scheikl, R. Planteu, G. Voitc, H. Wiltsche, C. Stangl, G. Fauler, A. Thaler, V. Hacker, "Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes – impact of state of charge and overcharge", *RSC Adv.* 5 (2015) 57171–57186. doi:10.1039/C5RA05897J.
10. F. Larsson, P. Andersson, B.-E. Mellander, "Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests", *Batteries.* 2 (2016) 9. doi:10.3390/batteries2020009.
11. A. Lecocq, M. Bertana, B. Truchot, G. Marlair, "Comparison of the Fire Consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle", in: *International Conference on Fires in Vehicles, 2012*: pp. 183–194.
12. A. Rahman, R. Afroz, M. Safrin, "Recycling and disposal of lithium batteries : an economical and environmental approach", *IJUM Eng. J.* 18 (2017) 238–252.
13. C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, R.T. Long, "Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment", Springer US, Boston, MA, 2011. doi:10.1007/978-1-4614-3486-3.
14. M. Cellura, S. Longo, A. Orioli, D. Panno, "Life Cycle Assessment di sistemi per le auto elettriche, Report RdS/2012/ 093", 2011.
15. C. Di Bari, E. Conigli, F. Rossi, R. Calvigioni, C. Manni, I. Morriello, F. Messale, "Rapporto tecnico sul calcolo del carico di fuoco, sulla metodologia di prova adottata e presentazione dei risultati delle prove di incendio ed estinzione effettuate su Litio metallico e su celle Litio-ione, Report RdS/PAR2015/199", 2016.
16. C. Di Bari, V. Sglavo, "Batterie Litio-ione: sulla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio, Report RdS/PAR2015/200", 2016.
17. D. De Angelis, "Caratterizzazione dei materiali di celle litio-ione da trattare e opzioni tecnologiche attualmente esistenti per il loro recupero, Report RdS/PAR2013/195", 2014.
18. F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist, B.-E. Mellander, "Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires", *Sci. Rep.* 7 (2017) 10018. doi:10.1038/s41598-017-09784-z.
19. K.J. Nicoll, A.M. Rose, M.A.A. Khan, O. Quaba, A.G. Lowrie, "Thigh burns from exploding e-cigarette lithium ion batteries: First case series", *Burns.* 42 (2016) e42–e46. doi:10.1016/j.burns.2016.03.027.
20. K. Tanong, J. Blais, G. Mercier, "Metal Recycling Technologies for Battery Waste", *Recent Patents Eng.* 8 (2014) 13–23. doi:10.2174/1872212108666140204004041.
21. J. Sun, J. Li, T. Zhou, K. Yang, S. Wei, N. Tang, N. Dang, H. Li, X. Qiu, L. Chen, "Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery", *Nano Energy.* 27 (2016) 313–319. doi:10.1016/j.nanoen.2016.06.031.
22. J. Quintiere, S.B. Crowley, R.N. Walters, R.E. Lyon, D. Blake, "Fire Hazards of Lithium Batteries, Report DOT/FAA/TC-TN15/17", 2016.
23. J. Jaguemont, L. Boulon, Y. Dubé, "A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures", *Appl. Energy.* 164 (2016) 99–114. doi:10.1016/j.apenergy.2015.11.034.
24. J. Ordoñez, E.J. Gago, A. Girard, "Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 60 (2016) 195–205. doi:10.1016/j.rser.2015.12.363.
25. J. Wolfenstine, J.L. Allen, J. Read, D. Foster, "Chemistry and Structure of Sony's Nexelion Li-ion Electrode Materials, Report ARL-TN-0257", 2006.
26. L. Ahmadi, S.B. Young, M. Fowler, R.A. Fraser, M.A. Achachlouei, "A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems", *Int. J. Life Cycle Assess.* 22 (2017) 111–124. doi:10.1007/s11367-015-0959-7.
27. M. Chen, J. Liu, Y. He, R. Yuen, J. Wang, "Study of the fire hazards of lithium-ion batteries at different pressures", *Appl. Therm. Eng.* 125 (2017) 1061–1074. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.06.131.



28. M. Chen, R. Yuen, J. Wang, "An experimental study about the effect of arrangement on the fire behaviors of lithium-ion batteries", *J. Therm. Anal. Calorim.* 129 (2017) 181–188. doi:10.1007/s10973-017-6158-y.
29. M.R. Mancini, S. Frangini, C. Alvani, "Recupero eco-sostenibile di materiali da batterie litio-ione esauste: studi preliminari, Report RdS/2013/256", 2013.
30. M.R. Mancini, S. Frangini, "Recupero di componenti da batterie al litio-ione esauste: processo eco-sostenibile e innovativo, Report RdS/2014/184", 2015.
31. M. Held, R. Brönnimann, "Safe cell, safe battery? Battery fire investigation using FMEA, FTA and practical experiments", *Microelectron. Reliab.* 64 (2016) 705–710. doi:10.1016/j.microrel.2016.07.051.
32. N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, "Li-ion battery materials: present and future", *Mater. Today.* 18 (2015) 252–264. doi:10.1016/j.mattod.2014.10.040.
33. N.P. Lebedeva, L. Boon-Brett, "Considerations on the Chemical Toxicity of Contemporary Li-Ion Battery Electrolytes and Their Components", *J. Electrochem. Soc.* 163 (2016) A821–A830. doi:10.1149/2.0171606jes.
34. P.J. Mankowski, J. Kanevsky, P. Bakirtzian, S. Cugno, "Cellular phone collateral damage: A review of burns associated with lithium battery powered mobile devices", *Burns.* 42 (2016) e61–e64. doi:10.1016/j.burns.2015.10.012.
35. S.J. An, J. Li, C. Daniel, D. Mohanty, S. Nagpure, D.L. Wood, "The state of understanding of the lithium-ion-battery graphite solid electrolyte interphase (SEI) and its relationship to formation cycling", *Carbon N. Y.* 105 (2016) 52–76. doi:10.1016/j.carbon.2016.04.008.
36. V. Ekeremo, *Recycling opportunities for Li-ion batteries from hybrid electric vehicles*, Chalmers University of Technology, 2009.
37. V. Ruiz, A. Pfrang, A. Kriston, N. Omar, P. Van den Bossche, L. Boon-Brett, "A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81 (2018) 1427–1452. doi:10.1016/j.rser.2017.05.195.
38. X. Zeng, J. Li, N. Singh, "Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review", *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 44 (2014) 1129–1165. doi:10.1080/10643389.2013.763578.

## Appendice: curricula dei componenti il gruppo di studio

Come accennato, la scelta del gruppo di ricerca è stata fatta sulla base della complementarità delle competenze, in modo da poter affrontare le problematiche proposte dall'accordo di collaborazione sfruttando il massimo delle sinergie possibili e disponibili all'interno del Dipartimento di Chimica della Sapienza.

### **Prof. Alessandro Bacaloni**

Professore Associato di Chimica Analitica (CHIM 01) - Dipartimento di Chimica, Facoltà di Scienze MMFFNN della Sapienza - Università degli Studi di Roma, è laureato in Chimica Industriale. Componente della Giunta di Facoltà di Scienze MMFFNN (2010-2012) e della Giunta di Dipartimento di Chimica (2013-2016). Vicedirettore della Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro dall'a.a. 2001/2002 al 2010/2011.

Socio dell'Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII) dagli anni '80; Presidente della sezione Lazio, Abruzzo, Marche, Umbria e Sardegna dal 2000 al 2009; Igienista Industriale Certificato dal 1993, dal 2010 Accredia n. IA0307010025.

Ha rappresentato il MIUR in seno alla Commissione Consultiva, di cui al D.Lgs. 52/97 di attuazione della Direttiva 92/32/CEE concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose, quale esperto di problematiche connesse con la ricerca scientifica (1997 – 2002)

Responsabile negli ultimi anni dell'effettuazione di diversi incarichi affidati al Dipartimento di Chimica della Sapienza per l'accertamento del rischio chimico e della esposizione a cancerogeni per i lavoratori da parte della Banca d'Italia e della RAI-Radiotelevisione Italiana. Responsabile della informazione e formazione di base sul rischio chimico per il personale docente e tecnico del Dipartimento di Chimica della Sapienza dal 2004 e docente sugli stessi argomenti nei corsi per gli RLS di Ateneo. Responsabile per il Dipartimento di Chimica dei contratti per l'effettuazione di consulenze di Igiene Industriale presso Enti esterni (Banca d'Italia, RAI Radio Televisione Italiana, ecc.).

È tuttora titolare dei seguenti insegnamenti: Chimica Analitica della Sicurezza (C.L. Magistrale in Chimica Industriale dall'a.a. 2009/2010) – Ambiente e Salute (C.L. Magistrale in Chimica dall'a.a.2013/2014) – Igiene Industriale (C.L. Triennale in Tecnico della Prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro dall'a.a. 2003/2004; sede di Rieti)

Nell'ambito della ricerca e della produzione scientifica, si è dedicato inizialmente a problematiche inerenti alla messa a punto ed applicazione di metodiche analitiche per l'individuazione e la determinazione di contaminanti chimici in aria ed in altre matrici di interesse ambientale (pubblicazioni dalla fine degli anni '70 agli anni '80). Successivamente, l'attività scientifica sfociava in aspetti multidisciplinari, volta alla caratterizzazione degli effetti sulla salute di operatori professionalmente esposti agli agenti suddetti, anche al fine di individuare criteri scientificamente validi per la prevenzione delle patologie e la protezione degli esposti; questo ha comportato la collaborazione con altre competenze scientifiche (medici, biologi, fisici), fornendo il necessario supporto chimico e chimico-analitico, rintracciabile nelle pubblicazioni successive (dagli anni '80 ad oggi). Parallelamente, a partire dalla fine degli anni '90, la ricerca è stata rivolta alla determinazione in matrici ambientali di tracce di pesticidi o altri residui chimici classificabili come "endocrine disruptors" (interferenti endocrini) mediante la messa a punto di innovative tecniche di estrazione ed analisi. Tale attività si è concretizzata, fra l'altro, nella produzione di oltre 100 fra articoli scientifici su riviste internazionali o nazionali, atti di congresso internazionali o nazionali pubblicati a stampa, libri o capitoli di libro.

È stato responsabile scientifico di numerosi progetti di ricerca, quali: U.O. Roma per il Progetto MIUR PNRA 2009/A2.10 "Contaminazione Ambientale in Antartide: livelli ed andamenti degli inquinanti organici persistenti (POPS)" – durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPESL C15/DIL/02 "Determinazione del rischio ambientale connesso all'utilizzo di farmaci nell'industria zootecnica" 2003-2004 – durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPESL B73/DIL/03 "Tecniche ifenate del tipo cromatografia-spettrometria di massa nella determinazione della esposizione professionale ad isocianati" 2005-2006 – durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPESL DIL "Standardizzazione di metodologie di rilevazione di 10 sostanze scelte tra le più diffuse come inquinanti inorganici in ambienti di lavoro (metalli pesanti e gas permanenti)" 1990-1991 – durata 24

mesi; ISPEL DIL "Messa a punto di metodologie di rilevazione di inquinanti organici (antiparassitari carbammati, tiocarbammati, erbicidi)" 1991-1992 – durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPEL B50/DIPIA/02 "Messa a punto di tecniche analitiche sperimentali per la validazione del contenuto informativo prodotto da tecniche GIS e da telerilevamento ad alta definizione in aree caratterizzate dalla presenza di insediamenti industriali e altre attività produttive" – durata 24 mesi; Progetto di ricerca ISPEL B55/DIPIA/03 "Individuazione e studio del ciclo idrogeologico di prodotti tossici pericolosi derivanti da attività industriali" – durata 24 mesi; PRIN 2004 "Metodi Multidimensionali per lo Studio di Sostanze di Natura Biotica per la Sicurezza e Qualità nella Filiera Agroalimentare" – durata 24 mesi; Progetto ISPEL B1-32/DIL/04 "Caratterizzazione dell'esposizione a ritardanti di fiamma aerodispersi in particolari tipologie di ambienti lavorativi" – durata 12 mesi; Progetto ISPEL B06/2007 "Produzione di una metodologia per la determinazione, il monitoraggio e la valutazione della pericolosità degli inquinanti organici persistenti di origine industriale (POPs) dispersi nella risorsa idrica, anche tramite la realizzazione di un GIS. Valutazione e modellazione del fato e dell'impatto sulla salute umana della popolazione residente e degli addetti e della mitigazione degli effetti" – durata 24 mesi.

Coautore di collane editoriali: IPSOA-INDICITALIA - IGIENE E SICUREZZA DEL LAVORO - CD ROM ad aggiornamento bimestrale (dal 1997 al 2001); IPSOA INDICITALIA (WOLTERS KLUWER ed.) - TUTTO SICUREZZA E AMBIENTE - Opera su DVD e online ad aggiornamento bimestrale. Autore o coautore di opere su carta o su supporto informatico per l'IPSOA (Wolters Kluwer Italia) nel campo dell'igiene e sicurezza sul lavoro e ambientale, e relativamente all'utilizzo, alla determinazione in matrici ambientali ed allo smaltimento di sostanze pericolose.

#### **Dr.ssa Maria Assunta Navarra**

Ricercatore T.D. presso il Dipartimento di Chimica della Sapienza, settore scientifico disciplinare Chimica Fisica dal Gennaio 2010. Professore aggregato dall'a.a. 2012/2013. Ottiene l'Abilitazione Scientifica Nazionale (2012 e 2013) come Professore Associato in Chimica Fisica (Chim/02- 03/A2) e Fondamenti chimici delle Tecnologie (Chim/07 - 03/B2).

Si laurea in Chimica con lode presso l'Università degli Studi di Roma La Sapienza nell'A.A. 2000/2001. Nel Gennaio 2006 consegue il titolo di Dottore di Ricerca in Scienza dei Materiali presso lo stesso Ateneo.

Nel 2008 partecipa alla fondazione della società "Eco Recycling", primo SPIN OFF di trasferimento tecnologico, nel settore dello smaltimento dei rifiuti speciali, dell'Università di Roma "La Sapienza".

Membro (dal 2002) di: Ordine Interregionale dei Chimici di Lazio, Umbria, Abruzzo e Molise (LUAM) e Consiglio Nazionale dei Chimici (CNC); Società Chimica Italiana (SCI): Divisioni di Elettrochimica e Chimica Fisica, Gruppo Interdivisionale di Chimica per le Energie Rinnovabili (EnerCHEM) – membro del consiglio di amministrazione; Electrochemical Society (ECS); International Society of Electrochemistry (ISE).

Riceve due importanti riconoscimenti: il Premio di Dottorato 2007 "Fondazione Oronzio e Niccolò De Nora", assegnato dalla Divisione di Elettrochimica della Società Chimica Italiana e il Premio Eni Italgas "Debutto nella Ricerca", XIX edizione, per gli studi condotti su nuove tecnologie applicate alle celle a combustibile.

Svolge lunghi periodi di formazione presso università ed istituti esteri, quali Chalmers University of Technology (Göteborg, Svezia), Hunter College of City University of New York (New York City, USA), Case Western Reserve University (Cleveland, USA), Center for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW, Ulm, Germania), instaurando proficue e durature collaborazioni.

È stata titolare dell'insegnamento "Ambiente e Beni Culturali" della Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per la Conservazione dei Beni Culturali presso La Sapienza; attualmente è titolare dell'insegnamento "Chimica dei Beni Culturali e Metodi Elettrochimici" nello stesso corso di laurea. È afferente al Centro di Ricerca HYDRO-ECO "Hydrogen as an alternative and ecological energy carrier" della Sapienza. L'attività di ricerca è focalizzata in: sintesi e caratterizzazione di materiali per dispositivi elettrochimici avanzati volti alla conversione e all'accumulo di energia. Sviluppo di nuove componenti elettrodiche e, principalmente, elettrolitiche (e.g. liquidi ionici, membrane polimeriche a conduzione ionica) sia per batterie al litio che per celle a combustibile alimentate ad idrogeno. Utilizzo delle più sofisticate tecniche d'indagine elettrochimica (spettroscopia d'impedenza, ciclazioni galvanostatiche, metodi potenziometrici/amperometrici) e chimico-fisica (e.g. analisi termiche, strutturali e morfologiche,

spettroscopia Raman/IR, NMR). Autore di circa 60 pubblicazioni a stampa sui temi suddetti in riviste scientifiche internazionali.

**Dott.ssa Susanna Insogna**

Titolare di Assegno di Ricerca nel settore scientifico disciplinare CHIM/01 dal 2008 al 2016 presso il Dipartimento di Chimica dell'Università degli studi di Roma "La Sapienza". Titolare di Contratto di Collaborazione dal 2016 presso lo stesso Dipartimento.

Laureata con lode in Chimica presso l'Università degli studi di Roma "La Sapienza" nel settembre 2003; indirizzo chimica analitica e chimica ambientale. Nel febbraio 2008 consegue il Dottorato di ricerca in Igiene Industriale ed Ambientale presso lo stesso Ateneo, con una ricerca dal titolo "Idrocarburi clorurati volatili in aria. Determinazione del rapporto di concentrazione atmosfera/ambiente acquatico".

Membro di un'unità di ricerca nell'ambito del Progetto Nazionale di Ricerche in Antartide dal 2005.

Docente a Contratto per gli insegnamenti "Chimica e analisi dell'inquinamento atmosferico con laboratorio" (corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie per la Conservazione dei Beni Culturali), dall'A.A. 2010/2011, e "Scienze Ambientali - Chimica ambientale e beni culturali" (corso di laurea triennale in Tecniche della prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro), dall'A.A. 2014/2015, presso l'Università degli studi di Roma "La Sapienza".

Le sue attività di ricerca si focalizzano principalmente su: - Sviluppo di metodologie innovative per la determinazione di composti organici volatili a livello di tracce in matrici ambientali - Messa a punto di tecnologie per il campionamento di aria in condizioni ambientali estreme - Monitoraggio di idrocarburi clorurati volatili in aria e matrici acquose in Antartide per lo studio dei meccanismi di trasporto e diffusione su scala globale di contaminanti di origine antropica - Valutazione di inquinanti aerodispersi nell'ambiente e nei luoghi di lavoro; tali ricerche sono state oggetto di numerose pubblicazioni a stampa su riviste scientifiche internazionali e nazionali, atti di comunicazioni in congressi.