



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia  
e lo sviluppo economico sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studi preliminari alla progettazione di un laboratorio di verifiche  
strumentali per la sicurezza

*Cinzia Di Bari*

Report RdS/2012/096

STUDI PRELIMINARI ALLA PROGETTAZIONE DI UN LABORATORIO DI VERIFICHE STRUMENTALI PER LA SICUREZZA

Cinzia Di Bari (ENEA, CR Casaccia UTTEI VEBIM)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studio per lo sviluppo di materiali innovativi per il risparmio di energia nel settore elettrico con particolare attenzione ai materiali per i mezzi di trasporto collettivo: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

Responsabile del Progetto: Giuseppe Barbieri, ENEA

Note e ringraziamenti.

Ringrazio i colleghi dell'ENEA, per aver superato con loro difficoltà non indifferenti: G. Barbieri, G. Pede, M. Schwarz, F. Vellucci. E un affettuoso grazie ai collaboratori più giovani: M.G. Napolitano, D. Grasso.

## Indice

<b>Sommario</b> .....	<b>4</b>
<i>Introduzione</i> .....	5
<b>Studi preliminari alla progettazione del laboratorio</b> .....	<b>6</b>
<i>Sostanze chimiche normalmente presenti nelle celle Litio-ione</i> .....	6
<i>Sostanze chimiche che si possono sviluppare durante l'esercizio o a seguito di abuso</i> .....	10
<b>Attività del laboratorio per le verifiche strumentali di sicurezza</b> .....	<b>12</b>
<i>Agenti Fisici e loro misura</i> .....	12
<i>Sostanze chimiche e loro misura</i> .....	13
<i>Polveri, polveri sottili, nanopolveri</i> .....	14
Valutazione dell'esposizione a nanoparticelle.....	16
<i>Altre attrezzature di laboratorio</i> .....	16
<i>Identificazione del locale laboratorio e pianificazione interventi</i> .....	17
Identificazione del locale .....	17
Elementi di pianificazione degli interventi.....	19
<b>Conclusioni</b> .....	<b>20</b>
<b>Riferimenti bibliografici</b> .....	<b>20</b>
<i>Legge 11 febbraio 1994 n. 109 e successive modifiche ed integrazioni, recante: " Legge quadro in materia di lavori pubblici"</i> .....	20
<b>Allegato 1. Materiali e metodi di misura e campionamento (NIOSH, OSHA)</b> .....	<b>22</b>
<b>Allegato 2. Misuratore nanoparticelle</b> .....	<b>26</b>

## Sommario

Per le loro caratteristiche peculiari, si assiste ad un utilizzo crescente delle batterie Litio-ione. Si tratta di dispositivi chimici (Articoli, per il REACH) con una grande capacità di accumulo energetico: energia chimica che si converte in energia elettrica, quando richiesta. Come già evidenziato<sup>1</sup> nel corso di uno studio precedente, la presenza di sostanze pericolose quali solventi organici infiammabili, ossidi di metalli pesanti e di litio, carbonio, sali di litio, ecc, richiede attenzioni particolari durante l'intero ciclo di vita di ogni singola cella e, quindi, di ogni sistema di accumulo basato su questa chimica. Attualmente classificate come *Hazmat* dalle norme giuridiche che disciplinano il trasporto delle sostanze pericolose negli Stati Uniti (US DOT – United States Department of Transportation) e *Dangerous Good* (Merci pericolose) nella normativa UN (United Nations) e ICAO (International Civil Aviation Association) recepita nei vari ordinamenti giuridici internazionali, per quanto riguarda il rischio incendio ed esplosione, sono oggetto di studi di sicurezza tuttora in corso.

In questo rapporto si presentano gli studi preliminari alla progettazione di un laboratorio per le verifiche sperimentali di sicurezza, concepito per l'indagine di agenti fisici e chimici che si possono sviluppare nel corso delle prove di funzionamento di batterie Litio-ione in condizioni normali (carica e scarica) condotte nei laboratori ENEA UTTEI VEBIM. Lo studio è stato effettuato anche tenendo conto di quanto potrebbe accadere nei test di abuso che verranno effettuati nei prossimi anni a seguito della recente acquisizione di una camera climatica appositamente realizzata.

La dotazione strumentale del laboratorio viene qui proposta in forma essenziale, con l'intento di recuperare alcuni spazi già esistenti all'interno dei laboratori ENEA UTTEI VEBIM, attraverso un opportuno piano di investimento. La dotazione organica dovrebbe essere preferibilmente costituito da un laureato magistrale in chimica o chimica industriale con esperienza nella analisi di inquinanti ambientali e da un laureato in Tecniche della Prevenzione negli ambienti di vita e di lavoro (una nuova disciplina che forma una figura professionale prossima a quella dell'igienista industriale) esperto di monitoraggi ambientali.

E' d'obbligo pensare che gli investimenti prevedibili, sulla base di questo studio e del suo approfondimento, per: l'ammmodernamento e messa a norma del laboratorio, i beni strumentali e l'acquisizione di due unità di personale e la loro formazione specifica, oltre a soddisfare le esigenze dei laboratori UTTEI VEBIM possano consentire, nel medio termine, anche la fornitura di servizi all'esterno.

## Introduzione

Per le loro caratteristiche peculiari, si assiste ad un utilizzo crescente delle batterie Litio-ione. Il loro sviluppo ha consentito una rapida diffusione dei dispositivi elettronici quali PC portatili, smartphone, tablet, ecc. e, nel settore *auto motive*, lo sviluppo e commercializzazione dei primi veicoli ibridi e elettrici, con evidenti vantaggi sull'inquinamento ambientale delle città, per i quali sono presumibili notevoli volumi di mercato.

Si tratta di dispositivi chimici (Articoli, per il REACH) con una grande capacità di accumulo energetico: energia chimica che si converte in energia elettrica, quando richiesta. Come già evidenziato [Di Bari, 2011] nel corso di uno studio preliminare, la presenza di sostanze pericolose quali solventi organici infiammabili, ossidi di metalli pesanti e di litio, carbonio, sali di litio, ecc, richiede attenzioni particolari durante l'intero ciclo di vita di ogni singola cella e, quindi, di ogni sistema di accumulo basato su questa chimica.

Attualmente classificate come *Hazmat* dalle norme giuridiche che disciplinano il trasporto delle sostanze pericolose negli Stati Uniti (US DOT – United States Department of Transportation) e *Dangerous Good* (Merci pericolose) nella normativa UN (United Nations) e ICAO (International Civil Aviation Association) recepita nei vari ordinamenti giuridici internazionali, per quanto riguarda il rischio incendio ed esplosione, sono oggetto di studi di sicurezza tuttora in corso. Tali studi, a partire dalla chimica delle celle, e poi includendo gli scenari di esposizione afferibili ad ognuna delle fasi del ciclo di vita di tali sistemi, consentiranno di individuare i modi corretti di gestione dei rischi e di impiantare una adeguata normativa tecnica e giuridica a tutela della salute e sicurezza dell'uomo e dell'ambiente.

In questo rapporto si presentano gli studi preliminari (ovvero, l'acquisizione dei così detti "dati di progetto") alla progettazione di un laboratorio per le verifiche sperimentali di sicurezza. Questa fase sarà seguita dai livelli di progettazione generalmente necessari per la realizzazione di un manufatto o un'opera: preliminare, definitivo, esecutivo [Legge 109/94, DPR 554/1999].

Il laboratorio è stato concepito per l'indagine di agenti fisici e chimici che si possono sviluppare nel corso delle prove di funzionamento di batterie Litio-ione in condizioni normali (carica e scarica) condotte nei laboratori ENEA UTTEI VEBIM. Lo studio è stato effettuato anche tenendo conto di quanto potrebbe accadere nei test di abuso che verranno effettuati nei prossimi anni a seguito della recente acquisizione di una camera climatica appositamente realizzata.

Acquisite le conoscenze della chimica di base delle celle elettrochimiche Litio-ione, sono stati condotti studi sulle reazioni non desiderate [Di Bari, La Barbera, Padella 2012] che possono avvenire sia durante il normale funzionamento che in condizioni di abuso. L'analisi di queste informazioni ha consentito l'identificazione di alcune sostanze e dei loro metodi di monitoraggio ambientale. Le analisi che si desidera condurre nel laboratorio in corso di progettazione, sono quelle concepite dalle metodologie di igiene industriale: durante le varie prove sperimentali condotte nei nostri laboratori, si intende monitorare la composizione dell'aria circostante le celle Litio ione e i sistemi di accumulo. Sia per quanto riguarda la formazione di eventuali sostanze pericolose che l'azione di agenti fisici, così come identificati dal D.Lgs. 81/08 recante norme sulla tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori.

Ciò significa raccogliere informazioni utili alla valutazione del rischio durante le prove, ma anche durante l'utilizzo dei sistemi litio ione da parte dei consumatori. Di progettare sistemi di monitoraggio ad hoc e di intraprendere le necessarie azioni di prevenzione e protezione, tra le quali rientrano la corretta progettazione dei locali di carica, stoccaggio e uso di sistemi di accumulo.

E' d'obbligo pensare che gli investimenti prevedibili, sulla base di questo studio e del suo approfondimento, per: l'ammodernamento e messa a norma del laboratorio, i beni strumentali e l'acquisizione di due unità di personale e la loro formazione specifica, oltre a soddisfare le esigenze dei laboratori UTTEI VEBIM possano consentire, nel medio termine, anche la fornitura di servizi all'esterno.

## Studi preliminari alla progettazione del laboratorio

L'identificazione delle sostanze chimiche (elementi chimici e composti) normalmente presenti all'interno delle batterie Litio-ione e di quelle che si possono generare nel corso del loro funzionamento (carica e scarica) o in condizioni di abuso (meccanico, elettrico, termico) è fondamentale è il principale dato di progetto per la realizzazione del laboratorio di verifiche strumentali per la sicurezza. L'argomento viene qui affrontato in forma preliminare ed è in corso di approfondimento.

L'esatta composizione chimica di una batteria Litio-ione, ove per "composizione chimica" si intende la corretta identificazione delle sostanze presenti e la loro percentuale ponderale all'interno del sistema, non è mai nota: conoscerla consente di valutare "l'energia chimica potenziale" presente all'interno del dispositivo.

Tali dati generalmente non sono noti con completezza, sia per motivi brevettuali che a causa della non definizione delle informazioni che il fabbricante o l'importatore sono tenuti a dare per legge ai vari attori che intervengono nel ciclo di vita di una batteria o cella: questa è la situazione attuale all'interno dei Paesi della UE, anche se il Regolamento REACH [Regolamento (CE) n. 1907/2006] classifica questi dispositivi come "Articoli" e, come tali, affianca alla loro circolazione sul mercato la cosiddetta Scheda di Sicurezza (SDS).

Per la corretta ed univoca identificazione di talune sostanze chimiche è utile possedere il Numero CAS (Chemical Abstract Service), cioè il numero con cui esse vengono registrate (una volta identificate) alla banca dati internazionale del CAS. Sono numerose le informazioni reperibili con questa "chiave": e sono quelle che ci servono.

In questo studio sono state prese in riferimento le batterie EiG C020 che, lo scorso anno, sono state oggetto di prove di caratterizzazione e vita (carica e scarica, pesante e lenta) condotte presso i laboratori ENEA UTTEI VEBIM.

### Sostanze chimiche normalmente presenti nelle celle Litio-ione

Dalla Scheda di sicurezza acquisita dall'importatore, comunque non conforme alla normativa europea, risulta la seguente composizione:

**Tabella 1. Composizione chimica della cella EiG C020. Fonte: SDS EiG**

COMPONENTE	PRODOTTO CHIMICO	CAS	COMPOSIZIONE PERCENTUALE
Elettrodo positivo	Li(MnNiCo)O <sub>2</sub>	?	20 – 50%
	Al (metallo espanso)	7429-90-5	2 – 10%
Elettrodo negativo	C	7440-44-0	10 - 30
	Cu (metallo espanso)	7440-50-8	2 – 10%
Legante	PVDF (fluoruro polivinilico) polivinilidene fluoruro		< 5%
Elettrolita	?	?	10 – 20%
Altri componenti	Al (Film laminato)	N.D.	residui

Ulteriori ricerche effettuate su celle di altri produttori a comportamento analogo [Di Bari, 2011], hanno consentito di identificare con completezza le specie chimiche presenti e di acquisire alcune delle loro

schede di sicurezza con l'identificazione di alcune proprietà fisiche e di pericolo. Queste informazioni sono riassunte in Tabella 2 e Tabella 3.

In Tabella 3 sono stati inseriti i dati di Li, Mn, Ni e Co metallici, giacché non può essere esclusa a priori la presenza di impurezze metalliche e il Li metallico anche se volontariamente non introdotto è presente nel corso delle reazioni elettrochimiche che avvengono durante il funzionamento del dispositivo, che coinvolgono principalmente la semicoppia redox  $\text{Li}^+ / \text{Li}^0$ .

**Tabella 2. Ipotesi composizione chimica completa cella EIG C020**

COMPONENTE	COSTITUENTI	PRODOTTO CHIMICO	CAS	COMPOSIZIONE PERCENTUALE
<b>Elettrodo positivo</b>	materiale attivo (composto di intercalazione)	$\text{Li}(\text{MnNiCo})\text{O}_2$	182442-95-1	20 – 50%
	collettore di corrente	Al (metallo espanso) o in lamina sottile	7429-90-5	2 – 10%
<b>Elettrodo negativo</b>	materiale attivo	C (carbonio grafítico)	7440-44-0	10 - 30
	collettore di corrente	Cu (metallo espanso)	7440-50-8	2 – 10%
<b>Legante (binder)</b>	materiale polimerico	PVDF (fluoruro polivinilico) polivinilidene fluoruro	24937-79-9	< 5%
<b>Elettrolita</b>	soluzione di esafluorofosfato di litio in una miscela di solventi organici EC + EMC	$\text{LiPF}_6$	21324-40-3	10 – 20%
		EC (etilene carbonato)	96-49-1	
		EMC (etilmetil carbonato)	623-53-0	
<b>Altri componenti</b>	Film laminato	Al	N.D.	residui
	Additivi brevettati			

**Tabella 3. Informazioni reperite dalle Schede di Sicurezza**

PRODOTTO CHIMICO	Stato fisico	Fonte SDS	Fraasi R	Fraasi S	Tossicità	T <sub>eb</sub> °C	T <sub>fus</sub> °C	altro
Li(MnNiCo)O <sub>2</sub>	Solido (polvere)	3M	<i>non disponibile</i>	<i>non disponib</i>	Cancerogeno Ototossico Irritante Sensibilizzante (pelle e apparato respiratorio) Effetti su organi bersaglio...tutto! Sezione 3 –Co, Mn, Ni	-	1100	
Litio	Solido	3M	Infiammabile 14: reagisce violentemente con acqua 35: provoca gravi ustioni 43: può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle			1336,5	180	T autoign. 179 °C
Manganese	Solido (polvere)	3M	11: facilmente infiammabile 15: a contatto con l'acqua libera gas estremamente infiammabili H319: provoca gravi irritazioni oculari	43: estinguenti classe D (sabbia)	effetti su organi bersaglio	1962	1244	-
Nichel	Solido (polvere)	3M	40: possibilità effetti cancerogeni (Canc. cat. 3) 43: può provocare sensibilizzazione per contatto con la pelle 48/23: tossico: pericolo di gravi danni alla salute in caso esposizione prolungata per inalazione 52/53: nocivo organismi acquatici....			2730	1453	
Cobalto	Solido (polvere)	3M	42/43: può provocare sensibilizzazione per inalazione e contatto con la pelle 53: può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico			2870	1493	
Al (metallo espanso)	Solido (polvere)	Sigma Aldrich	15: <b>a contatto con l'acqua libera gas estremamente infiammabili</b> 17: spontaneamente infiammabile all'aria			2500	660	
C	Solido (polvere)	Sigma Aldrich	Considerato non pericoloso	verificare SDS carbone attivo, fermo restando che trattasi di grafite – composto intercalazione				
Cu (metallo espanso)	Solido (foglio)	Sigma Aldrich	molto tossico organismi acquatici			2567	1083, 4	
PVDF (fluoruro polivinilico) polivinilidene fluoruro	Solido (polvere)	Sigma Aldrich	Sostanza non completamente sottoposta a test				165	Tdec > 315 °C

<b>LiPF<sub>6</sub></b>	Solido (polvere)	Sigma Aldrich & TCI	Corrosivo (acido corrosivo per lo IATA) 34: provoca ustioni	Può essere combustibile ad alta temperatura; produce HF durante l'incendio; igroscopico, evitare calore eccessivo e luce.		n.d.	200	
<b>EC (etilene carbonato)</b>	<b>liquido</b>	TCI	41: rischio di gravi lesioni oculari 36/37/38: irritante per occhi, apparato respiratorio e pelle			248	<b>38</b>	T autoign. 157 °C Flash point: 143 °C
<b>EMC (etilmetil carbonato)</b>	liquido	TCI	infiammabile (trasporto)	Informazioni in via di acquisizione		108		

### *Sostanze chimiche che si possono sviluppare durante l'esercizio o a seguito di abuso*

Da ricerche effettuate risulta che dalle batterie sottoposte ad abuso meccanico (SANDIA test: EFAA-FPRF NFPA, 2011, p.16) viene rilasciata in ambiente una miscela gassosa in cui sono presenti, tra gli altri componenti, idrogeno, metano, ossido di carbonio e gli elettroliti stessi, entrambi infiammabili:

In caso di innalzamento di temperatura al di sopra delle temperature di funzionamento raccomandate (max 50 °C, a seconda della tipologia di batteria) o di sovraccarica o sovrascarica, possono innescarsi reazioni chimiche indesiderate all'interno delle celle, con decomposizione termica dei suoi componenti e sviluppo di prodotti gassosi a velocità sostenuta (Thermal Runaway) con conseguente esplosione, rilascio in atmosfera di prodotti gassosi anche se presenti dispositivi di sfogo (Vent system), altre reazioni chimiche tra i componenti della cella elettrodi inclusi loro contatto con l'aria ambiente.

Ciò premesso, è possibile ipotizzare una serie di possibili scenari di esposizione "semplici" tra cui il contatto con i materiali elettrodici con una reattività enfatizzata da un elevato rapporto superficie/massa, fattore questo di rilievo sia per l'infiammabilità che per gli effetti sulla salute.

Nelle figure [EFAA-FPRF NFPA, 2011] presentate di seguito vengono mostrate una cella prismatica aperta (Figura 1) e alcuni esempi dei danni subiti da batterie Litio ione a seguito di varie condizioni di abuso. Tali danni possono essere facilmente rivelati dall'ispezione visiva della cella aperta o comunque privata della copertura esterna. In particolare, la Figura 2 e la Figura 5 sono relative ad abuso elettrico. Mentre la Figura 3 e la Figura 4 mostrano le conseguenze di una reazione fuggitiva (Thermal Runaway) senza precisare le condizioni di innesco (che potrebbero essere sia abuso termico che elettrico).



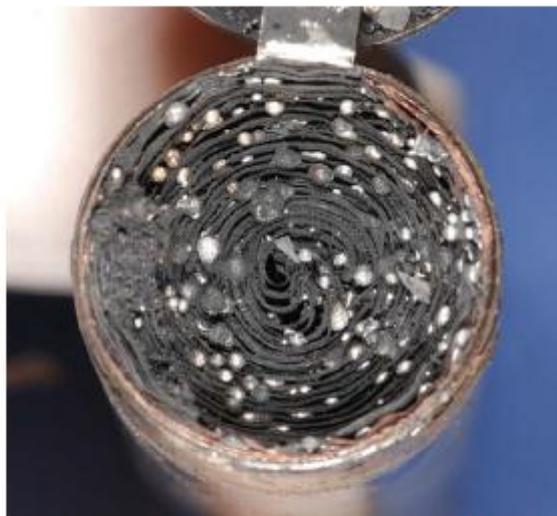
**Figura 1. esempio di una cella prismatica aperta**



**Figura 2. Esempio della fusione del separatore dovuto ad abuso elettrico**



**Figura 3. Una cella 18650 nella quale è avvenuta una reazione fuggitiva (Thermal runaway)**



**Figura 4. Una cella 18650 dopo il Thermal runaway: sono visibili delle "perline" di alluminio fuso e risolidificato**



Figura 5. L'anodo di una cella ricoperta di rame dopo sotto-scarica ripetuta

## Attività del laboratorio per le verifiche strumentali di sicurezza

Tenuto conto di quanto premesso e sulla base degli studi tuttora in corso, il laboratorio sarà un ambiente di lavoro da utilizzare per l'ispezione visiva delle celle prima e dopo le prove elettriche e di abuso, per le misure ambientali e per le misure condotte nelle vicinanze immediate dei sistemi di accumulo a base litio, nel corso della loro sperimentazione, anche durante i test di abuso che si prevede di effettuare nel futuro prossimo, a seguito della acquisizione e messa in servizio della camera climatica specifica per le prove di abuso.

Si prevede di effettuare:

- A. Manipolazione di batterie litio ione dopo prove e prove d'abuso per ispezione visiva interna (cappa aspirazione cancerogeni (vapori e polveri) con possibilità di ciclo chiuso e manipolazione dall'esterno, macchina fotografica con cavalletto da banco per macro) e misura perdita in peso (bilancia da tenere sotto cappa per pesatura celle eventualmente "esplose" e/o danneggiate da prove di abuso).
- B. Campionamenti e Misure di
  - a. Agenti fisici
  - b. Agenti chimici e cancerogeni; sostanze infiammabili
  - c. Polveri, polveri sottili, nano polveri
  - d. Ozono

### Agenti Fisici e loro misura

Tra gli agenti fisici, la presenza di Campi Elettromagnetici (CEM) nell'intorno dei sistemi di accumulo elettrici è ipotizzabile in quanto associabile ai campi elettrici generati da questi sistemi (cariche elettriche in movimento): il fenomeno è quindi da approfondire, tenuto conto sia degli effetti di interferenza che possono essere indotti su altri sistemi elettromagnetici che degli effetti che possono essere prodotti sulla salute di operatori e utilizzatori.

Per quanto riguarda il rumore (campo udibile del suono) e la generazione di infrasuoni e/o ultrasuoni, l'argomento deve essere approfondito: su di esso, al momento è stata effettuata solo una sommaria ricerca bibliografica [U.S. NTP, 2001; HPA, 2010 ].

**Tabella 4. Agenti fisici e loro misura**

Agente	Attrezzatura	Da banco	Portatile	Esempi di utilizzo specifico (modo d'uso)
CEM	<i>Da identificare</i>		x	Monitoraggio individuale e ambientale nel corso delle prove dei sistemi di accumulo.
Rumore	Fonometro		X	Pressione sonora
Velocità aria	Anemometro multi sonda TESTO (filo caldo e ventola)		x	Test sull'efficienza dello scambio termico
Temperatura aria statica			x	Test sull'efficienza dei sistemi di aspirazione localizzata
Umidità aria				Monitoraggio delle condizioni di prova
				Come sopra
Peso	Bilancia gravimetrica	X		Misura di eventuale perdita in peso dei celle litio ione nel corso di prove di elementi singoli.
Dimensioni celle	Calibro ventesimale	x		Come sopra
Armadio per custodia strumentazione				-
Cavalletti	-Generalmente acquistati con la strumentazione			

### Sostanze chimiche e loro misura

In questa prima fase, in cui non è ancora chiaro quali siano le sostanze che possono essere rilasciate in aria (indoor) nelle diverse condizioni di funzionamento e malfunzionamento delle celle litio-ione, verranno sperimentati metodi di misura di inquinanti semplificati come le FIALE COLORIMETRICHE (Tabella 5). Il vantaggio di questo metodo di misura è quello di poter, tra le altre cose, sviluppare sistemi di misura affidabili e alla portata di tutti gli attori del ciclo di vita delle batterie litio ione. Si propone quindi l'uso iniziale delle fiale colorimetriche monouso Kitagawa corredate del **"Gas detector tube system Kitagawa"** con pompa manuale di aspirazione (utilizzabile anche in Aree non sicure) dotato di prolunga (2 m) per campionamento telescopico; dispositivo meccanico per campionamento con una mano, taglia punte. Il sistema è disponibile in Italia ed ha costi estremamente accessibili : sito web: <http://www.recomindustriale.com/it/>

Vengono comunque passati in rassegna i metodi di misura e campionamento degli agenti chimici presenti e verosimilmente prodotti durante il funzionamento delle celle e che possono essere rilasciati all'esterno in caso di malfunzionamento (Allegato 1)

Sulla base di opportune considerazioni, si intende andare a individuare e, se del caso, effettuare misure delle seguenti sostanze:

- particolato di varie dimensioni (compresi nebbie e fumi) contenenti con diversi stati di ossidazione: Li, Mn, Co, Ni, Al, C, Cu, Fe, P e PO<sub>4</sub>,LiPF<sub>6</sub> - Sali di litio;
- aerodispersi: EC, EMC, H<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HF e F, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>

**Tabella 5. Fiale colorimetriche Kitagawa per i principali agenti chimici gassosi<sup>2</sup>**

Cod. RECOM	Gas misurabile	Formula	Cod. fiale	Range di misura (ppm)	Shelf Life (anni)	N° di fiale per confezione
320360 320361 320365 320366 320370 320370	Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	126SA	0.1-5.2%	2	10
126SB			0.05-1.0%	2	10	
126SF			100-4,000	2	10	
126SG			0.02-1.4%	2	10	
126SH			1-20%	2	10	
126UH			5-50%	2	10	
320380	Carbon Monoxide	CO	100	5-1,000	3	10
320680	Hydrogen	H <sub>2</sub>	137U	0.05-0.8%	3	5
320700	Hydrogen fluoride	HF	156S	0.17-30	3	10
320900 320902 320904	Ozone	O <sub>3</sub>	182SA	50-1,000	2	10
182SB			2,5-100	2	10	
182U			0.025-3.0	2	10	

### Polveri, polveri sottili, nanopolveri

Particolato, particolato sospeso, pulviscolo atmosferico, polveri sottili, polveri totali sospese (PTS), sono termini che identificano comunemente l'insieme delle sostanze sospese in aria (fibre, particelle carboniose, metalli, silice, inquinanti liquidi o solidi) [Wikipedia, 2012].

In base alle dimensioni ( $\mu\text{m}$  = micron) ed alla natura delle particelle si possono elencare le seguenti classi qualitative di particolato:

- **Aerosol:** particelle liquide o solide sospese di diametro minore di  $1 \mu\text{m}$ ; sono dispersioni di tipo colloidale, che causano, ad esempio, all'alba e al tramonto, l'effetto Tyndall, facendo virare il colore della luce solare verso l'arancione.
- **Esalazioni:** particelle solide di diametro  $< 1 \mu\text{m}$ , in genere prodotte da processi industriali.
- **Foschie:** goccioline di liquido di diametro  $< 2 \mu\text{m}$ .
- **Fumi:** particelle solide disperse di diametro  $< 2 \mu\text{m}$ , trasportate da prodotti della combustione.
- **Polveri:** particelle solide di diametro variabile tra  $0,25$  e  $500 \mu\text{m}$ .
- **Sabbie:** particelle solide di diametro  $> 500 \mu\text{m}$ .

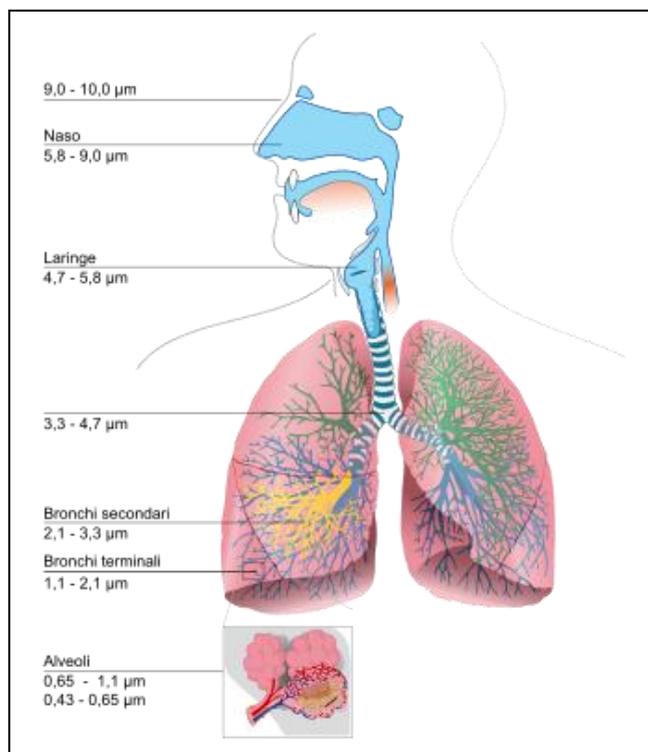
La quantità totale di polveri sospese è in genere misurata in maniera quantitativa (peso / volume). In assenza di inquinanti atmosferici particolari, il pulviscolo contenuto nell'aria raggiunge concentrazioni diverse ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) nei diversi ambienti, generalmente è minimo in zone di alta montagna, e aumenta spostandosi dalla campagna alla città, alle aree industriali.

L'insieme delle polveri totali sospese (PTS) può essere scomposto a seconda della distribuzione delle dimensioni delle particelle. Le particelle sospese possono essere campionate mediante filtri di determinate dimensioni, analizzate quantitativamente ed identificate in base al loro massimo *diametro aerodinamico equivalente* ( $d_{ae}$ )

<sup>2</sup> <http://www.recomindustriale.com/it/>

Si utilizza un identificativo formale delle dimensioni, il **Particulate Matter**, abbreviato in PM, seguito dal diametro aerodinamico massimo delle particelle.

Ad esempio si parla di PM<sub>10</sub> per tutte le particelle con diametro inferiore a 10 µm, pertanto il PM<sub>2,5</sub> è un sottoinsieme del PM<sub>10</sub>, che a sua volta è un sottoinsieme del particolato grossolano ecc.



**Figura 6. Penetrazione delle polveri nell'apparato respiratorio.**

In particolare:

- **Particolato grossolano** – particolato sedimentabile di dimensioni superiori ai 10 µm, non in grado di penetrare nel tratto respiratorio superando la laringe, se non in piccola parte.<sup>[7]</sup>
- **PM<sub>10</sub>** – particolato formato da particelle inferiori a 10 micron (µm) (cioè inferiori a un centesimo di millimetro), è una *polvere inalabile*, ovvero in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (naso e laringe). Le particelle fra circa 5 e 2,5 µm si depositano prima dei bronchioli.<sup>[7]</sup>
- **PM<sub>2,5</sub>** – *particolato fine* con diametro inferiore a 2,5 µm (un quarto di centesimo di millimetro), è una *polvere toracica*, cioè in grado di penetrare profondamente nei polmoni, specie durante la respirazione dalla bocca.

Per dimensioni ancora inferiori (*particolato ultrafine*, UFP o UP) si parla di *polvere respirabile*, cioè in grado di penetrare profondamente nei polmoni fino agli alveoli; vi sono discordanze tra le fonti per quanto riguarda la loro definizione, per quanto sia più comune e accettata la definizione di UFP come PM<sub>0,1</sub> piuttosto che come PM<sub>1</sub> (di cui comunque sono un sottoinsieme):

- **PM<sub>1</sub>**, con diametro inferiore a 1 µm
- **PM<sub>0,1</sub>**, con diametro inferiore a 0,1 µm
- **nanopolveri**, con diametro dell'ordine di grandezza dei nanometri (un nanometro sarebbe PM 0,001).

Le **nanopolveri** sono una sottocategoria di particolato ultrafine di dimensioni medie nel campo dei nanometri (milionesimo di millimetro).

Secondo lo SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), comitato scientifico UE che si occupa dei nuovi/futuri rischi per la salute, la "nanoscala" è associabile a tutte le particelle di diametro medio compreso fra 0,2 e 100 nm.

Le tecniche gravimetriche (basate quindi sul peso delle polveri) non riescono a misurare con la precisione e sensibilità sufficiente i quantitativi di particolato ancora più fine. Sono state però messe a punto tecniche ottiche basate sull'uso del laser e in grado di "contare" il numero di particelle presenti per unità di superficie di caduta.

### Valutazione dell'esposizione a nanoparticelle

L'uso di strumenti a lettura diretta con campionamento su filtro può essere effettuato con strumenti a lettura diretta. Tali strumenti includono sia i conta particelle ottici che quelli a condensazione: optical particle counters (OPCs) e condensation particle counters (CPCs). L'approccio del NIOSH alla valutazione dell'esposizione a nano particelle, ed è questo un valido esempio di riferimento dal punto di vista dell'igiene industriale, è quello di raccomandare di misurare i seguenti parametri: il numero delle particelle, la dimensione, la forma, il grado di agglomerazione e la massa e la concentrazione delle specie chimiche.

Nel caso del laboratorio che si intende realizzare, può essere sufficiente disporre di un conta particelle CPS, del tipo proposto in Tabella 6 e descritto in Allegato 2.

**Tabella 6. Misuratore portatile di nanoparticelle e costo**

SKC 3800 CPC (Allegato 3)	\$7,980.00
Stampante dati	\$490.00
Cavo per stampante	\$ 110,00

### Altre attrezzature di laboratorio

Il lay out del laboratorio dovrà consentire l'installazione delle seguenti attrezzature di base, ferme restando le linee elettriche, linea acqua e linea aria compressa; l'impianto di aereazione del locale e di climatizzazione.

**Tabella 7. Altre attrezzature di laboratorio**

Attrezzature	Uso
Cappa cancerogeni (polveri e vapori)	manipolazione celle e sostanze
DPI, pinze e adeguati strumenti da taglio	apertura celle per ispezione visiva ed eventuali campionamenti di materiali
Bilancia tecnica	
Bilancia analitica	
Bancone preparativa	
Postazione per PC ed appunti	
Macchina fotografica digitale	
Stereo microscopio	
Armadio di sicurezza per solventi + chimici + cancerogeni (piccolo)	Conservazione fiale colorimetriche, solventi organici, eventuali acidi ed altre sostanze necessarie nelle attività di campionamento e pulizia
Rete gas compressi	Argon
Eventuale generatore multi gas per gas tecnici	
Cassetta primo soccorso	
Lavandino	
Sistema produzione acqua deionizzata	

## Identificazione del locale laboratorio e pianificazione interventi

### Identificazione del locale

Presso Il Laboratorio UTTEI VEBIM , edificio F11, esiste un locale laboratorio chimico in disuso. nella planimetria quotata di **Figura 6** si riporta il riferimento a 5 immagini (**Figure da 7 a 11**) che ne mostrano l'attuale *layout* e lo stato di conservazione. Esso evidenzia una evidente e relativa vetustà delle attrezzature e dei dispositivi di protezione collettiva e richiederà una riprogettazione in funzione della attività specifica che dovrà esservi svolta, ovvero delle attrezzature che ospiterà, e della normativa applicabile alla attività stessa, della quale dovrà essere effettuata una valutazione del rischio preliminare per la quale risultano fondamentali gli studi già citati [Di Bari, 2011 e 2012].

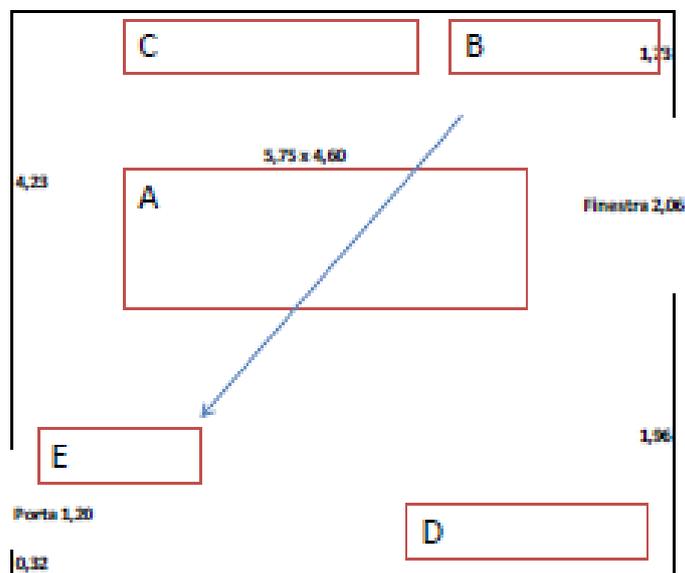


Figura 7. Planimetria laboratorio



Figura 8. Immagine A



Figura 9. Immagine B



Figura 10. Immagine C

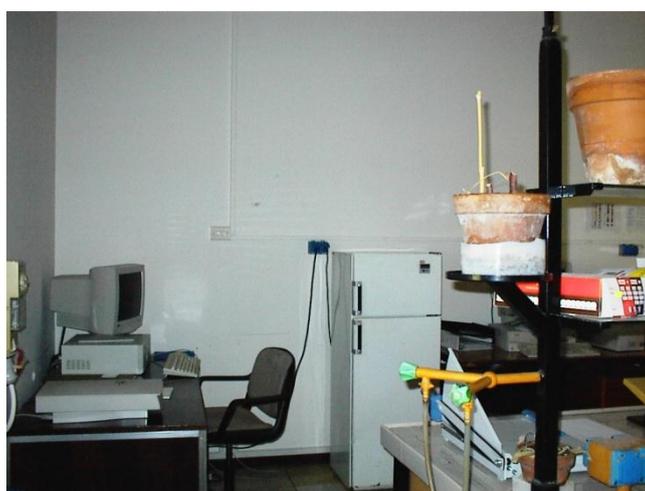


Figura 11. Immagine D



**Figura 12. Immagine E**

### Elementi di pianificazione degli interventi

[GBC, 2012] Una volta liberato dalle attrezzature attualmente presenti, forse in parte riutilizzabili, ma in una prima fase certamente da rimuovere, l'elemento più importante da verificare è certamente l'impianto elettrico. Una perizia dedicata dell'impianto ed un adeguamento dello stesso sulla base del nuovo layout e delle attrezzature che si vogliono introdurre nel laboratorio risulterebbe fondamentale anche in prospettiva. Altro elemento impiantistico certamente da verificare è quello di distribuzione del gas che andrebbe centralizzato e dotato di valvola generale di chiusura e rete di distribuzione puntuale sempre a norma.

Passando alle attrezzature fisse, certamente la cappa in legno andrebbe sostituita con una cappa a tenuta stagna che consenta di eseguire le prove con sostanze volatili in totale sicurezza per gli operatori. Infine, nella scelta delle attrezzature per le rilevazioni ed i campionamenti, si ritiene importante considerare l'affidabilità e la versatilità che questi strumenti devono avere.

Ricapitolando, quindi, le fasi successive necessarie per la realizzazione del laboratorio di analisi strumentali, potremmo suggerire le seguenti:

1. Perizie tecniche specifiche sugli impianti presenti effettuate da ingegneri impiantisti abilitati ed esperti in materia;
2. Individuazione degli agenti fisici e chimici da misurare e delle attrezzature di laboratorio necessarie
3. Ricerca sul mercato delle attrezzature necessarie alle rilevazioni strumentali ed ai campionamenti;
4. Progettare layout ed impianti del laboratorio in maniera compatibile con le necessità specifiche risultanti dalle caratteristiche delle attrezzature individuate sul mercato e che vogliono essere installate;
5. Realizzare il laboratorio.

Ognuna di queste fasi presenta dei costi più o meno importanti per essere realizzata, ma certamente la fase di progettazione definitiva ed esecutiva del laboratorio e l'acquisizione della strumentazione da installarci sono certamente le più gravose. Solo in seguito alle fasi 1 e 2 e 3 (queste ultime sono state parzialmente svolte nel presente studio), comunque, sarebbe possibile effettuare una stima dei costi credibile e realmente indicativa dell'investimento da fare.

## Conclusioni

Realizzare un laboratorio di verifiche strumentali per accertare che, durante le prove condotte sulle batterie litio ione siano presenti le condizioni di tutela della salute e della sicurezza degli operatori, implica aver valutato la sicurezza dei dispositivi già in fase di progettazione. Infatti, tramite le analisi strumentali durante le prove si può certamente riscontrare se, in fase di esercizio, le condizioni ambientali si mantengono tali da non generare problemi agli operatori, ma eventuali reazioni improvvise delle celle, come l'esplosione o la perdita di sostanze chimiche volatili, non possono essere gestite se non preventivamente.

L'identificazione e la strutturazione di un laboratorio di analisi strumentali e campionamenti, poi, deve tenere conto di molte variabili, strutturali, impiantistiche, ma soprattutto di fruibilità rispetto allo scopo per il quale deve essere implementato. Infatti, in base alle tipologie di analisi che devono essere eseguite al suo interno, spazi ed impianti devono avere caratteristiche peculiari. Conseguentemente, il laboratorio individuato, seppur già studiato come laboratorio chimico e quindi strutturato per ospitare sostanze e preparati potenzialmente pericolosi e per eseguire al suo interno attività di ricerca, richiederebbe un'attenta verifica di attrezzature ed impianti da parte di tecnici abilitati e specializzati.

Una volta strutturato ed attrezzato un laboratorio di questo genere, con un investimento iniziale di diverse decine di migliaia di euro tra strumentazioni ed impianti, sarebbe opportuno ipotizzarne un utilizzo diffuso e non solo puntuale. Avere a disposizione attrezzature specifiche e personale formato è un'opportunità che può essere allargata anche ad altre ricerche con una conseguente ottimizzazione delle risorse.

## Riferimenti bibliografici

C. Di Bari, "Studio preliminare di sicurezza di un sistema di accumulo elettrico realizzato con celle litio-ione", Report RdS/2011/309, Settembre 2011. [http://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/tecnologie-elettriche/rds-309-122-studio-preliminare-di-sicurezza-di-un.pdf](http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/tecnologie-elettriche/rds-309-122-studio-preliminare-di-sicurezza-di-un.pdf)

C. Di Bari, A. La Barbera, F. Padella, "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

DPR 21 dicembre 1999 n. 554, recante: "Regolamento d'attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici". S.O. n. 66/L della Gazzetta Ufficiale n. 98 del 28 aprile 2000

Exponent Failure Analysis Associates Inc., "Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment". Final Report, Fire Protection Research Foundation, Luglio 2011.

<http://www.nfpa.org/assets/files/PDF/Research/RFLithiumIonBatteriesHazard.pdf>

GBC Sicurezza srl. Report finale incarico di servizio prot. ENEA/37217/UTTMAT MONIT del 17.07.2012, RSE PAR 2012 Ob. 3.5.c, settembre 2012

Health Protection Agency, "Health effects of infrasounds and ultrasounds", ([http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb\\_C/1265028759369](http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1265028759369)), February, 2010

<http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Particolato&oldid=51588200>

<http://www.skcltd.com/PDF/HSEGuidePages.pdf> (Campionamenti e metodi di misura HSE)

J. Stark (Magna E-car Systems), "Li-ion battery safety and reliability", 2ndAnnual Pan-European Conference, BatteryTestingforElectricMobility, Berlino, 3-4 maggio 2011".

J. Tübke (Fraunhofer Institute forChemical TechnologyPfinztal), "Safety Tests on Lithium Ion Batteries, 2ndAnnual Pan-European Conference, BatteryTestingforElectricMobility, Berlino, 3-4 maggio 2011".

Legge 11 febbraio 1994 n. 109 e successive modifiche ed integrazioni, recante:" Legge quadro in materia di

lavori pubblici”.

*Regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 dicembre 2006* concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH), che istituisce un'Agenzia europea per le sostanze chimiche, che modifica la direttiva 1999/45/CE e che abroga il regolamento (CEE) n. 793/93 del Consiglio e il regolamento (CE) n. 1488/94 della Commissione, nonché la direttiva 76/769/CEE del Consiglio e le direttive della Commissione 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE.

US National Toxicological Program, “Infrasound. Brief Review of Toxicological Literature”, November 2001 ([http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/Chem\\_Background/ExSumPdf/Infrasound.pdf](http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/Chem_Background/ExSumPdf/Infrasound.pdf))

## Allegato 1. Materiali e metodi di misura e campionamento (NIOSH, OSHA)

Fonte: <http://www.skinc.com/cff/chemical.asp>

CAS NO	Chemical	Method	CFF	Sampling Equipment	Analytical Method
10028-15-6	<a href="#">Ozone</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Detector Tube <a href="#">800-33181</a> or Detector Tube <a href="#">800-21001</a> or Detector Tube <a href="#">810-18L</a>	DET TB
	<a href="#">Ozone</a>	<a href="#">OSHA ID-214</a>		Coated Filter in Preloaded Cassette <a href="#">225-9014</a> Sorbent Tube Special order Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	IC
	<a href="#">Ozone (see Passive Sampling Guide)</a>			Passive Sampler <a href="#">526-300</a>	DR
124-38-9	<a href="#">Carbon dioxide</a>	<a href="#">OSHA ID 172</a>	<a href="#">1026</a>	Sample Bag <a href="#">253-03</a> or Sample Bag <a href="#">263-03</a> Pump <a href="#">222-3</a>	GC-TCD
	<a href="#">Carbon dioxide (by portable GC)</a>	<a href="#">NIOSH 6603</a>	<a href="#">1027</a>	Sample Bag 232 Series Pump <a href="#">222-3</a>	P GC-TCD
	<a href="#">Carbon dioxide (see Passive Sampling Guide)</a>			Detector Tube <a href="#">800-01381</a> or Detector Tube <a href="#">810-2D</a> or Detector Tube <a href="#">800-01051</a>	
1333-74-0	<a href="#">Hydrogen</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Detector Tube <a href="#">810-30</a>	DET TB
630-08-0	<a href="#">Carbon monoxide</a>	<a href="#">OSHA ID 209</a>		Direct Reading Instrument <a href="#">805-18972</a>	DRI
	<a href="#">Carbon monoxide</a>	<a href="#">OSHA ID 210</a>	<a href="#">1021</a>	Sample Bag <a href="#">252-10</a> or Sample Bag <a href="#">253-10</a> or Sample Bag <a href="#">262-10</a> or Sample Bag <a href="#">263-10</a> Pump <a href="#">222-3</a>	GC-DID
	<a href="#">Carbon monoxide (see Passive Sampling Guide)</a>			Detector Tube <a href="#">800-33191</a> or Detector Tube <a href="#">810-1DL</a> or Detector Tube <a href="#">810-1D</a>	
7429-90-5	<a href="#">Aluminum &amp; compounds (total dust as Al)</a>	<a href="#">NIOSH 7013</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA-F
	<a href="#">Aluminum (elements by ICP Aqua Regia ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7301</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-803</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Aluminum (elements by ICP HNO3 digestion)</a>	<a href="#">NIOSH 7303</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Aluminum (elements by ICP HNO3/HClO4 ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7300</a>	<a href="#">1455</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Aluminum (respirable fraction)</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Filter <a href="#">225-8-01</a> Cyclone <a href="#">225-105</a> Filter Cassette <a href="#">225-3LF</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a>	GR
	<a href="#">Aluminum (total dust)</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Filter Cassette <a href="#">225-2LF</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	GR
	<a href="#">Aluminum soluble salts</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a>	AA or AES

CAS NO	Chemical	Method	CFF	Sampling Equipment	Analytical Method
				Pump <a href="#">210-5001</a>	
	<a href="#">Aluminum welding fumes</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Filter Cassette <a href="#">225-2LF</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	GR
	<a href="#">Aluminum, pyro powders</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Filter Cassette <a href="#">225-2LF</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	GR
7439-93-2	<a href="#">Lithium</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
	<a href="#">Lithium (elements by ICP Aqua Regia ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7301</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-803</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Lithium (elements by ICP HNO3/HClO4 ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7300</a>	<a href="#">1455</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
7439-96-5	<a href="#">Manganese &amp; compounds (as Mn)</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>	<a href="#">1194</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
	<a href="#">Manganese &amp; compounds (as Mn)</a>	<a href="#">OSHA ID 125G</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3100</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Manganese (elements by ICP Aqua Regia ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7301</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-803</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Manganese (elements by ICP HNO3/HClO4 ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7300</a>	<a href="#">1455</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Manganese (elements on wipes)</a>	<a href="#">NIOSH 9102</a>		Wipe <a href="#">225-2414</a> Template <a href="#">225-2403</a> or Template <a href="#">225-2415</a>	ICP-AES
	<a href="#">Manganese fume</a>	<a href="#">OSHA ID 125G</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3100</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Manganese fume (as Mn)</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>	<a href="#">1195</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
7440-02-0	<a href="#">Nickel (elements by ICP Aqua Regia ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7301</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-803</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Nickel (elements by ICP HNO3 digestion)</a>	<a href="#">NIOSH 7303</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Nickel (elements by ICP HNO3/HClO4 ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7300</a>	<a href="#">1455</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Nickel (elements on wipes)</a>	<a href="#">NIOSH 9102</a>		Wipe <a href="#">225-2414</a> Template <a href="#">225-2403</a> or Template <a href="#">225-2415</a>	ICP-AES

CAS NO	Chemical	Method	CFF	Sampling Equipment	Analytical Method
	<a href="#">Nickel (metal &amp; insoluble compounds as Ni)</a>	<a href="#">OSHA ID 125G</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3100</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Nickel (metal, soluble, &amp; insoluble compounds as Ni)</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>	<a href="#">1044</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
	<a href="#">Nickel (soluble compounds as Ni)</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>	<a href="#">1197</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
	<a href="#">Nickel (soluble compounds as Ni)</a>	<a href="#">OSHA ID 125G</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3100</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
7440-48-4	<a href="#">Cobalt</a>	<a href="#">OSHA ID 213</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Cobalt &amp; compounds (as Co)</a>	<a href="#">NIOSH 7027</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA-F
	<a href="#">Cobalt (elements by ICP Aqua Regia ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7301</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-803</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Cobalt (elements by ICP HNO3 digestion)</a>	<a href="#">NIOSH 7303</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Cobalt (elements by ICP HNO3/HClO4 ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7300</a>	<a href="#">1455</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Cobalt (elements on wipes)</a>	<a href="#">NIOSH 9102</a>		Wipe <a href="#">225-2414</a> Template <a href="#">225-2403</a> or Template <a href="#">225-2415</a>	ICP-AES
	<a href="#">Cobalt metal, dust &amp; fume</a>	<a href="#">OSHA ID 125G</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3100</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Cobalt metal, dust &amp; fume (as Co)</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>	<a href="#">1210</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
7440-50-8	<a href="#">Copper (elements by ICP Aqua Regia ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7301</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-803</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Copper (elements by ICP HNO3 digestion)</a>	<a href="#">NIOSH 7303</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Copper (elements by ICP HNO3/HClO4 ashing)</a>	<a href="#">NIOSH 7300</a>	<a href="#">1455</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Copper dust</a>	<a href="#">NIOSH 7029</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA-F
	<a href="#">Copper dusts &amp; mists</a>	<a href="#">OSHA ID 125G</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3100</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES

CAS NO	Chemical	Method	CFF	Sampling Equipment	Analytical Method
	<a href="#">Copper dusts &amp; mists (as Cu)</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>	<a href="#">1205</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
	<a href="#">Copper fume</a>	<a href="#">NIOSH 7029</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA-F
	<a href="#">Copper fume</a>	<a href="#">OSHA ID 121</a>	<a href="#">1206</a>	Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	AA or AES
7440-50-8	<a href="#">Copper fume</a>	<a href="#">OSHA ID 125G</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> or Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3100</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
	<a href="#">Copper fume (ICP analysis of metal/metalloid particulates from solder operations)</a>	<a href="#">OSHA ID 206</a>		Preloaded Filter Cassette <a href="#">225-3-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ICP-AES
7664-39-3	<a href="#">Hydrofluoric acid (fluorides)</a>	<a href="#">NIOSH 7906</a>		Coated Filter in Preloaded Cassette <a href="#">225-9001</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	IC-ECN
	<a href="#">Hydrogen fluoride</a>	<a href="#">NIOSH 7906</a>		Coated Filter in Preloaded Cassette <a href="#">225-9001</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	IC-ECN
	<a href="#">Hydrogen fluoride (acids, inorganic)</a>	<a href="#">NIOSH 7903</a>	<a href="#">1016</a>	Sorbent Tube <a href="#">226-10-03</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	IC
	<a href="#">Hydrogen fluoride (as F)</a>	<a href="#">OSHA ID 110</a>		Coated Filter in Preloaded Cassette <a href="#">225-9001</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ISE
	<a href="#">Hydrogen fluoride (fluorides)</a>	<a href="#">NIOSH 7902</a>		Coated Filter in Preloaded Cassette <a href="#">225-9001</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	ISE
	<a href="#">Hydrogen fluoride (fluorides)</a>	<a href="#">NIOSH 7906</a>		Coated Filter in Preloaded Cassette <a href="#">225-9001</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	IC-ECN
	<a href="#">Hydrogen fluoride (see Passive Sampling Guide)</a>			Detector Tube <a href="#">810-17D</a>	
7782-42-5	<a href="#">Graphite (natural) (respirable dust)</a>	<a href="#">OSHA ID 142</a>		Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Cyclone <a href="#">225-105</a> Filter Cassette <a href="#">225-3LF</a>	GR & XRD
	<a href="#">Graphite (synthetic) (particulates, respirable)</a>	<a href="#">NIOSH 0600</a>	<a href="#">1038</a>	Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Cyclone <a href="#">225-01-02</a> Filter Cassette <a href="#">225-3LF</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	GR
	<a href="#">Graphite (synthetic) (particulates, total)</a>	<a href="#">NIOSH 0500</a>	<a href="#">1035</a>	Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Filter Cassette <a href="#">225-2LF</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	GR
	<a href="#">Graphite (synthetic) (respirable dust)</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Cyclone <a href="#">225-105</a> Filter Cassette <a href="#">225-3LF</a>	GR
	<a href="#">Graphite (synthetic) (total dust)</a>	<a href="#">OSHA CSI</a>		Filter <a href="#">225-8-01</a> Filter Cassette and Cyclone Holder <a href="#">225-1</a> Filter Cassette <a href="#">225-2LF</a> Pump <a href="#">210-5001</a>	GR

## Allegato 2. Misuratore nanoparticelle



### SKC 3800 CPC

#### Applications

- Indoor air quality investigations
- Occupational health control
- Aerosol research
- Filter testing
- Environmental testing for:
  - Diesel engine exhaust
  - Gasket leakage

#### Performance Profile

<b>Particle Size Measurement</b>	0.015 to 1 $\mu\text{m}$
<b>Concentration Range</b>	0 to 100,000 particles/cm <sup>3</sup>
<b>Counting Efficiency</b>	50 nm: 100% $\pm$ 20%; 15 nm: more than 50%
<b>Coincidental Loss</b>	< 5% at 100,000 particles/cm <sup>3</sup>
<b>Zero Count Level</b>	<1 count per 5 minutes
<b>Flow Rate Aerosol Flow</b>	100 ml/min
<b>Flow Rate Total Flow</b>	700 ml/min
<b>Alcohol Supply Type</b>	100% reagent-grade isopropyl alcohol
<b>Alcohol Supply Hours per Fill</b>	5 hours at 73 F (23 C)
<b>Absolute Pressure Sensor</b>	150 to 1150 hPa
<b>Mode of Measurements</b>	Repeat/Program/Counter
<b>Display</b>	Built-in LCD (128 x 64 dots)
<b>Interface</b>	USB
<b>Data Storage</b>	Maximum 10,000 measurements
<b>Power Supply Type</b>	6 AA-size alkaline batteries (included); rechargeable NiMH available AC adapter (100-240 V, included)
<b>Power Supply Operating Time</b>	Approximately 5 hrs with alkaline Approximately 8 hrs with NiMH
<b>Environmental Operation Condition Ambient Temperature Range</b>	50 to 95 F (10 to 35 C)
<b>Dimensions</b>	11 x 4.7 x 5.1 in (28 x 12 x 13 cm)
<b>Weight</b>	3.3 lbs (1.5 kg) without batteries

Ordering Information	Cat. No.
<b>3800 Condensation Particle Counter</b> includes instrument with 6 AA-size alkaline batteries, AC adapter (100-240 V), zero filter, PC USB cable, software, hard carry case, calibration certificate, and instructions	<a href="#">745-3800</a>
<b>Accessories</b>	
<b>Printer</b>	<a href="#">745-3801</a>
<b>Printer Cable</b>	<a href="#">745-3802</a>