



Istituti
Clinici
Scientifici
Maugeri
IRCCS



FONDAZIONE
SALVATORE
MAUGERI

GIORNALE ITALIANO DI MEDICINA DEL LAVORO ED ERGONOMIA

VOLUME XL - N. 3

LUGLIO-SETTEMBRE 2018

81° Congresso Nazionale SIML
Società Italiana di Medicina del Lavoro

**La Medicina del Lavoro:
dalla prevenzione
alla promozione della salute**

Bari, 26-28 settembre 2018

Editors:

***Leonardo Soleo, Pietro Apostoli,
Piero Lovreglio, Giovanna Spatari,
Luigi Vimercati, Francesco Saverio Violante***

RELAZIONI SESSIONI PLENARIE

**EDITOR
MARCELLO IMBRIANI**

TIPOGRAFIA **plm** EDITRICE Srl
PAVIA - 2018

ADROTERAPIA
PIÙ PRECISA SUL TUMORE
MENO INVASIVA SUL PAZIENTE



L'adroterapia è la forma più avanzata di radioterapia che sfrutta l'efficacia e la precisione di ioni carbonio e protoni per il trattamento di tumori radio-resistenti o inoperabili.

Gli ioni carbonio, in particolare, provocano un danno al DNA 3 volte maggiore rispetto a quello generato dalla radioterapia convenzionale, risparmiando i tessuti sani circostanti.

CNAO è l'unico centro in Italia e uno dei pochi al mondo in grado di effettuare trattamenti di adroterapia sia con fasci di ioni carbonio che con protoni.

fondazione **CNAO**
Una nuova energia contro i tumori

www.fondazionecnao.it - Strada Campeggi 53 - 27100 Pavia - Tel. 0382 078 963 - serviziomedico@cnao.it

GIORNALE ITALIANO DI MEDICINA DEL LAVORO ED ERGONOMIA

<http://www.aracneeditrice.it/aracneweb/index.php/rivista.html?col=GIMLE>

Rivista di **Medicina del Lavoro** (Medicina Occupazionale e Ambientale, Igiene del Lavoro, Tossicologia Occupazionale) ed **Ergonomia** (Rapporto Uomo/Lavoro, Riabilitazione Occupazionale, Terapia Occupazionale, Psicologia del Lavoro, Ergonomia)

Rivista indicizzata da: Index Medicus, Excerpta Medica, Scopus

Direttore

MARCELLO IMBRIANI

Università degli Studi di Pavia
Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa SB

MEDICINA DEL LAVORO

COMITATO SCIENTIFICO

Giuseppe ABBRITTI, Pietro APOSTOLI, Massimo BOVENZI, Stefano M. CANDURA, Pierluigi COCCO, Giovanni COSTA, Sergio IAVICOLI, Piero MAESTRELLI, Cristina MONTOMOLI, Antonio MUTTI, Giacomo MUZI, Gabriele PELISSERO, Enrico PIRA, Nicola SANNOLO, Pietro SARTORELLI, Leonardo SOLEO, Mario TAVANI, Francesco S. VIOLANTE

COMITATO DI REDAZIONE

Giulio ARCANGELI, Alberto BATTAGLIA, Nicoletta CORNAGGIA, Massimo CORRADI, Paolo CROSIGNANI, Marco DELL'OMO, Francesco FRIGERIO, Francesco GARDINALI, Fabrizio M. GOBBA, Ivo IAVICOLI, Giuseppe LA TORRE, Andrea MAGRINI, Sara NEGRI, Enrico ODDONE, Benedetta PERSECHINO, Giuseppe TAINO

MEDICINA SPECIALISTICA RIABILITATIVA DELLE CURE CORRELATE

(Riabilitazione Occupazionale, Terapia Occupazionale, Psicologia del Lavoro, Ergonomia, Economia Sanitaria, Cure Correlate in Riabilitazione)

COMITATO SCIENTIFICO

Giacomo BAZZINI, Michelangelo BUONOCORE, Luca CHIOVATO, Gianni GIORGI, Ines GIORGI, Paolo MIGLIAVACCA, Antonio NARDONE, Fabrizio PAVONE, Roberto PEDRETTI, Pierluigi POLITI, Alfredo RAGLIO, Livia VISAI

COMITATO DI REDAZIONE

Tommaso C. CAMEROTA, Edda CAPODAGLIO, Gianni D'ADDIO, Stefano GARIANO, Anna LODIGIANI, Marina MANERA, Monica PANIGAZZI, Giandomenico PINNA, Elena PRESTIFILIPPO

Segreteria scientifica: Enrico Oddone - E-mail enrico.oddone@unipv.it - Fax 0382-593796

Redazione: Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia - Istituti Clinici Scientifici Maugeri Spa SB
IRCCS Maugeri Pavia - Sezione di Medicina del Lavoro "Salvatore Maugeri" - Via Severino Boezio, 24 - 27100 PAVIA

Editore: PI-ME Editrice - Via Vigentina 136^A - Tel. 0382-572169 - Fax 0382-572102 - 27100 PAVIA
E-mail tipografia@pime-editrice.it



ABBONAMENTI 2018

GIORNALE ITALIANO DI MEDICINA DEL LAVORO ED ERGONOMIA

CONDIZIONI DI ABBONAMENTO

Gli abbonamenti sono annuali e decorrono dal 1° gennaio al 31 dicembre di ogni anno. Il pagamento dell'abbonamento è anticipato. Gli abbonamenti non disdetti un mese prima della scadenza si intendono rinnovati. I fascicoli che per disguido non pervengano agli abbonati, vengono spediti gratuitamente in duplicato.

PREZZO ABBONAMENTO ANNUO (4 fascicoli)

Italia (2018)	€ 60
Esteri (2018)	US \$ 120
1 fascicolo separato	€ 20 (US \$ 40)

Vogliate registrare il mio abbonamento per l'anno 2018

Tipografia PI-ME Editrice Srl

- ☐ Pagamento dell'importo di € _____
per bonifico su conto postale n. 57783284
o
☐ Pagamento dell'importo di € _____
per mezzo di bonifico bancario **BANCA POPOLARE DI SONDRIO**
IBAN IT95 J056 9611 3000 0000 1420 X93

Si prega di trascrivere con cura l'indirizzo a cui si desidera ricevere la rivista ed eventuale corrispondenza.

Cognome _____ Nome _____

Titolo professionale e qualifica _____

Indirizzo _____

Codice Postale _____ Città _____

Inviare il seguente modulo di richiesta all'indirizzo:

Tipografia PI-ME Editrice Srl - Via Vigentina 136^A - 27100 PAVIA
Tel. 0382/572169 - E-mail: tipografia@pime-editrice.it

I N D I C E

**81° Congresso Nazionale SIML
Società Italiana di Medicina del Lavoro**

**La Medicina del Lavoro:
dalla prevenzione alla promozione della salute**

Bari, 26-28 settembre 2018

***Editors: Leonardo Soleo, Pietro Apostoli, Piero Lovreglio,
Giovanna Spatari, Luigi Vimercati, Francesco Saverio Violante***

RELAZIONI SESSIONI PLENARIE

SESSIONE PLENARIA - Industria siderurgica: rischio occupazionale ed impatto ambientale **127**

- | | | |
|--|-----|---|
| C. Mapelli, S. Barella, D. Mombelli, A. Gruttadauria | 128 | Il ciclo integrato di produzione dell'acciaio e le fonti inquinanti |
| D. Cottica, E. Grignani, G. De Palma, P. Lovreglio | 137 | Il rischio chimico e cancerogeno nell'industria siderurgica |
| P. Lovreglio, L. Soleo, L. Greco, C. Marangella, I. Drago, G. De Palma, P. Apostoli | 144 | Monitoraggio dell'esposizione ad elementi metallici nello stabilimento siderurgico di Taranto |
| D.M. Cavallo, A. Spinazzè, A. Cattaneo, J. Fostinelli, P. Apostoli, P. Lovreglio, L. Soleo | 150 | Environmental impact of steel production process |

SESSIONE PLENARIA - Il lavoro come promozione della salute **153**

- | | | |
|--|-----|--|
| P. Sartorelli, G. d'Hauw, V. Paolucci | 154 | La salute dell'individuo al lavoro: dalla prevenzione alla promozione della salute |
| M.M. Ferrario, R. Borchini | 158 | Dalla <i>Work Health Promotion</i> alla <i>Total Worker Health</i> , quale contributo del medico del lavoro? |
| G. Logroscino, C. Zecca | 162 | Occupational exposures, biomarkers and neurodegenerative diseases |
| N. Scialpi, M. Sangineto, M. Piglionica, L. De Maria, P. Lovreglio, L. Vimercati, C. Sabbà, L. Soleo, A. Moschetta | 167 | Sindrome metabolica e lavoro |
| S. Caputo | 171 | Diabete e lavoro |

(segue)

- | | | |
|---|-----|---|
| L. Chiari, A. Ferrari | 176 | Monitoring human activities that might cause work-related musculoskeletal disorders by means of inertial and magnetic sensors |
| A. Giangrande, A. Leardini, G. Lullini, F.S. Violante, L. Berti, R. Bonfiglioli, P. Caravaggi | 179 | Uso di solette sensorizzate per la registrazione della movimentazione manuale di carichi |
| V. Cafaggi | 183 | Workair: l'air bag "intelligente" per la protezione dei lavoratori in altezza |

81° Congresso Nazionale SIML
Società Italiana di Medicina del Lavoro

**La Medicina del Lavoro:
dalla prevenzione alla promozione della salute**

Bari, 26-28 settembre 2018

Editors:

***Leonardo Soleo, Pietro Apostoli,
Piero Lovreglio, Giovanna Spatari,
Luigi Vimercati, Francesco Saverio Violante***

RELAZIONI SESSIONI PLENARIE

SESSIONE PLENARIA
Industria siderurgica: rischio occupazionale ed impatto ambientale

Carlo Mapelli, Silvia Barella, Davide Mombelli, Andrea Gruttadauria

Il ciclo integrato di produzione dell'acciaio e le fonti inquinanti

Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano, Milano (Italy)

RIASSUNTO. La presente memoria è focalizzata sulla descrizione del ciclo integrato per la produzione dell'acciaio (Figura 1). Vengono presi in considerazione i principali impianti che compongono il sistema finalizzato all'agglomerazione dei minerali di ferro, alla lavorazione del carbon fossile, alla produzione della ghisa e alla conversione di quest'ultima in acciaio. Durante la descrizione di questi impianti e dei processi che vi si realizzano si è posta attenzione ad evidenziare le principali fonti di inquinamento. Infine, è stata realizzata anche una sintetica presentazione degli impianti di riduzione dei minerali basati sull'utilizzo del gas naturale.

Parole chiave: altoforno, convertitore a ossigeno, agglomerazione, coke, inquinanti.

ABSTRACT. THE INTEGRATED ROUTE FOR THE STEELMAKING AND THE POLLUTION SOURCES. This paper is focused on the description of the integrated route for the steel production (Figure 1). The main plants involved in such a route have been treated and the main process steps have been described: sintering of the iron ores, coal treatment to obtain the coke, pig iron production by the blast furnace and its conversion to steel by the basic oxygen furnace. During the description of these plants and processes, the main pollution source have been pointed out. Finally, a synthetic presentation of the plants used for the reduction of the iron ores by natural gas has been performed.

Key words: blast furnace, oxygen converter, sintering, coke, pollutants.

Introduzione

A partire dalla metà del XIX secolo è andato sempre più affermandosi per motivi di razionalizzazione tecnologica dei cicli e di economia dei costi, il principio di concentrare le attività produttive siderurgiche in pochi stabilimenti di grandi dimensioni, nei quali svolgere tutta una serie di operazioni che comprendono la preparazione dei minerali, la loro riduzione e successiva conversione in acciaio e quindi, mediante lavorazioni plastiche a caldo e a freddo, la trasformazione in una vasta gamma di prodotti finiti.

Questi stabilimenti, cosiddetti a ciclo integrato, in seguito agli scambi commerciali sempre più intensi tra i vari paesi, alle scoperte di giacimenti di grande entità di carbone e soprattutto di minerali ricchi di ferro in paesi dell'Africa, dell'America Meridionale e dell'Australia, e all'enorme sviluppo dei mezzi di trasporto via mare con navi di grande tonnellaggio, sono stati ubicati in zone costiere in prossimità di porti. In tal modo gli stabilimenti siderurgici, disponendo di banchine e di mezzi di scarico propri, possono realizzare elevate economie nelle spese di trasporto e di manipolazione sia delle materie prime che dei prodotti ottenuti e destinati all'esportazione. Sono state così superate quelle condizioni che in passato hanno favorito il formarsi di concentrazioni industriali in vicinanza delle miniere e pertanto paesi come l'Italia, quasi privi di materie prime, hanno potuto realizzare produzioni di acciaio economicamente competitive con paesi che dispongono dei materiali indispensabili nella fabbricazione dell'acciaio.

Negli stabilimenti a ciclo integrato l'energia necessaria allo svolgimento di tutto il ciclo produttivo è fornita essenzialmente dal carbon fossile trasformato in coke, sia mediante il suo impiego diretto sia tramite i gas di recupero che vengono messi a disposizione anche alle centrali elettriche; è opportuno rilevare che nel ciclo integrato la produzione di acciaio si effettua a partire da un efficiente sviluppo di calore dato che i recuperi dei gas prodotti durante la preparazione del coke, la riduzione del minerale ed eventualmente la conversione della ghisa, servono a garantire l'alimentazione di molteplici utenze e il bilancio energetico di tutto lo stabilimento si basa essenzialmente su questi recuperi, poiché

si tende a fare in modo che l'apporto di energia dall'esterno abbia solo carattere integrativo. In Figura 1 è riportato in modo estremamente succinto uno schema di ciclo integrato.

Negli stabilimenti a ciclo integrato l'altoforno è quindi il cuore di tutto il complesso siderurgico ed attorno ad esso sorgono tutta una serie di apparecchiature e impianti ausiliari che vanno dalla preparazione delle materie prime, ai preriscaldatori dell'aria, ai depuratori dei gas, ecc.

La ghisa liquida proveniente dall'altoforno passa in acciaieria per la successiva conversione ed una volta che l'acciaio ha raggiunto la composizione chimica e la temperatura desiderate, viene versato in apposite siviere ed è pronto per le operazioni di colata in continuo o nei lingotti. Negli impianti a ciclo integrale sono pure previsti i reparti di lavorazione per deformazione plastica a caldo ed a freddo che permettono la realizzazione di una vasta gamma di prodotti laminati.

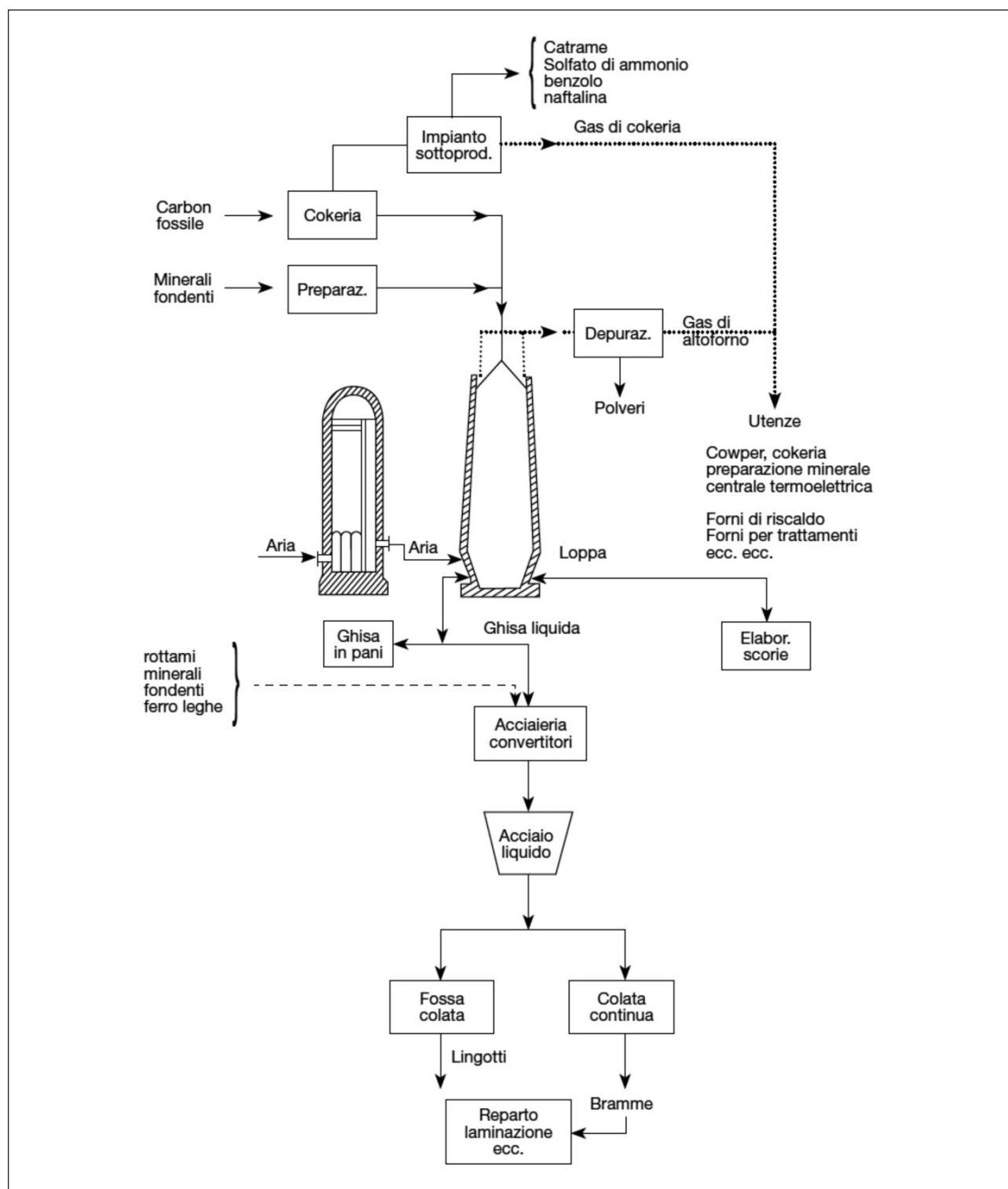


Figura 1. Schema sintetico del ciclo integrato di produzione dell'acciaio

Materie prime e processi di sinterizzazione e cokefazione

L'agglomerazione

L'agglomerazione è necessaria quando si hanno minerali in pezzatura fine, oppure polveri provenienti dall'applicazione di arricchimenti magnetici o di flottazione, oppure da altri processi come nel caso delle polveri di recupero dalla depurazione dei gas d'altoforno, ceneri di pirite, oppure dagli sfridi che si ottengono sempre nelle manipolazioni dei minerali.

Se nel materiale di carica esistono, o si formano durante il processo, delle specie chimiche a basso punto di fusione, come in generale i silicati complessi, allora una delle possibili spiegazioni dell'unione tra i pezzi è l'incipiente fusione di esse, con la funzione di legante tra le diverse particelle. In questo caso il processo non è più una vera e propria agglomerazione ma una sinterizzazione.

La quantità delle sostanze facilmente fusibili non deve però essere eccessiva per non compromettere la porosità

dell'agglomerato. In generale la formazione dell'agglomerato è più complessa poiché, in aggiunta, o in luogo del meccanismo suaccennato, si verifica una vera e propria ricristallizzazione con nucleazione e accrescimento di nuove fasi. I cristalli che si ottengono possono risultare o dalla solidificazione di sostanze fuse anche localmente in corrispondenza degli innumerevoli centri di combustione, ove la temperatura può salire oltre quella media, oppure si possono generare anche a temperature inferiori al punto di fusione dei cristalli originatisi dai noti fenomeni di diffusione allo stato solido, che alle elevate temperature richiedono tempi relativamente brevi.

L'elemento essenziale del processo di sinterizzazione, per l'agglomerazione di miscele di minerale e carbone di piccola granulometria è una griglia mobile tipo Dwight-Lloyd (Figura 2), sulla quale viene caricata la miscela in dosaggio opportuno che costituisce il letto di sinterizzazione. Nella zona di accensione e combustione avviene l'unione delle parti fini (unitamente ad un arrostitimento). Il prodotto finale, dopo la rottura del grosso piastrone sinterizzato, una massa spugnosa di forma irregolare e abba-

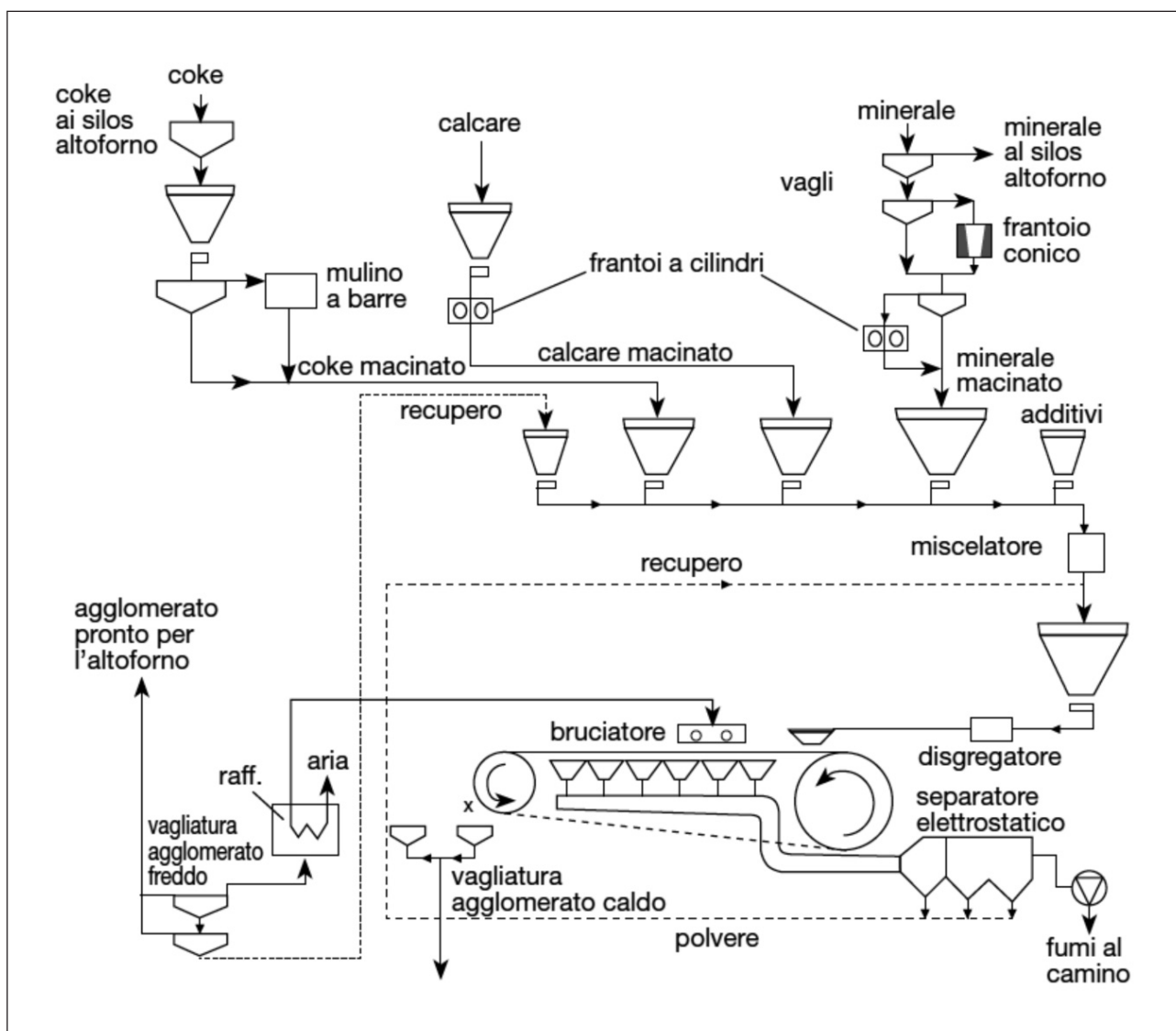


Figura 2. Il processo di agglomerazione dei minerali

stanza friabile, quindi è sconsigliato il trasporto a grande distanza e si preferisce operare la sinterizzazione presso i punti di utilizzo. Il processo di agglomerazione comporta la formazione di diossine che devono essere captate adeguatamente mediante l'installazione ed il mantenimento in esercizio di opportuni impianti di aspirazione.

Il processo di pellettizzazione non comporta la formazione di diossine, perché adatto all'agglomerazione di minerale di consistenza polverulenta, difficilmente sinterizzabile con i normali impianti. Il processo porta alla produzione di un agglomerato di forme tondeggianti con dimensioni di 10-25 mm di diametro, detto appunto "pellet".

Per meglio evidenziare come in generale i due processi ora visti non siano in concorrenza tra loro, si riportano in Tabella I due esempi di distribuzione granulometrica adatta per ciascun processo di pellettizzazione. Le operazioni principali della pellettizzazione consistono in un impasto dei "fini" con opportuno dosaggio di acqua e agglomerante sopra dischi o tamburi rotanti nei quali si ha la formazione delle pallottole sferoidali di dimensioni volute (dette "pellets verdi") e in un essiccamento di queste in forni fino ad ottenere la consistenza desiderata; il forno continuo a griglia, tipo Dwight-Lloyd.

Il processo di cokefazione

Il combustibile che dall'inizio del XVIII secolo ha avuto una generale diffusione per l'alimentazione degli altoforni è il coke.

In Figura 3 è riportata la successione schematica delle principali operazioni di preparazione del coke. Dalle tramogge la miscela viene presa e introdotta in uno speciale carro di carica, che scorre sui binari disposti sulla batteria

Tabella I. Distribuzione granulometrica dei materiali sinterizzati e pellettizzati

Dimensioni delle particelle (mm)	Per la sinterizzazione (%)	Per la pellettizzazione (%)
>8	7,4	-
3 ÷ 8	12,7	-
1 ÷ 3	28,1	-
0,15 ÷ 0,1	43,6	0,4
0,1 ÷ 0,075	3,9	7,6
0,075 ÷ 0,05	3,8	13,3
<0,05	0,5	78,7

dei forni a coke. Dopo che i coperchi delle aperture di carico sono stati rimossi, le tramogge vengono messe in posizione (pos. A); il carbone, fatto cadere dalle varie tramogge dentro la camera del forno (pos. B), si dispone in mucchi; viene quindi introdotta nel forno attraverso una apposita apertura (pos. C) la barra di livellamento; successivamente, estratta la barra, tutte le aperture vengono chiuse e iniziano le operazioni di cokizzazione. Al termine del processo di distillazione, il coke viene spinto fuori da ogni cella (pos. D e E) a mezzo di una grande macchina sfornatrice scorrevole su binario disposta in senso trasversale ai forni (dopo che la macchina stessa abbia provveduto ad aprire dal proprio lato la porta della cella e che una macchina guida-coke abbia aperto la porta della cella dal lato opposto, cioè di uscita del coke).

Il coke prodotto va a riempire un carro che è trasportato sotto la torre di spegnimento a pioggia d'acqua. Appena spento, il coke viene gradualmente convogliato su nastri di gomma che lo trasportano all'impianto di frantu-

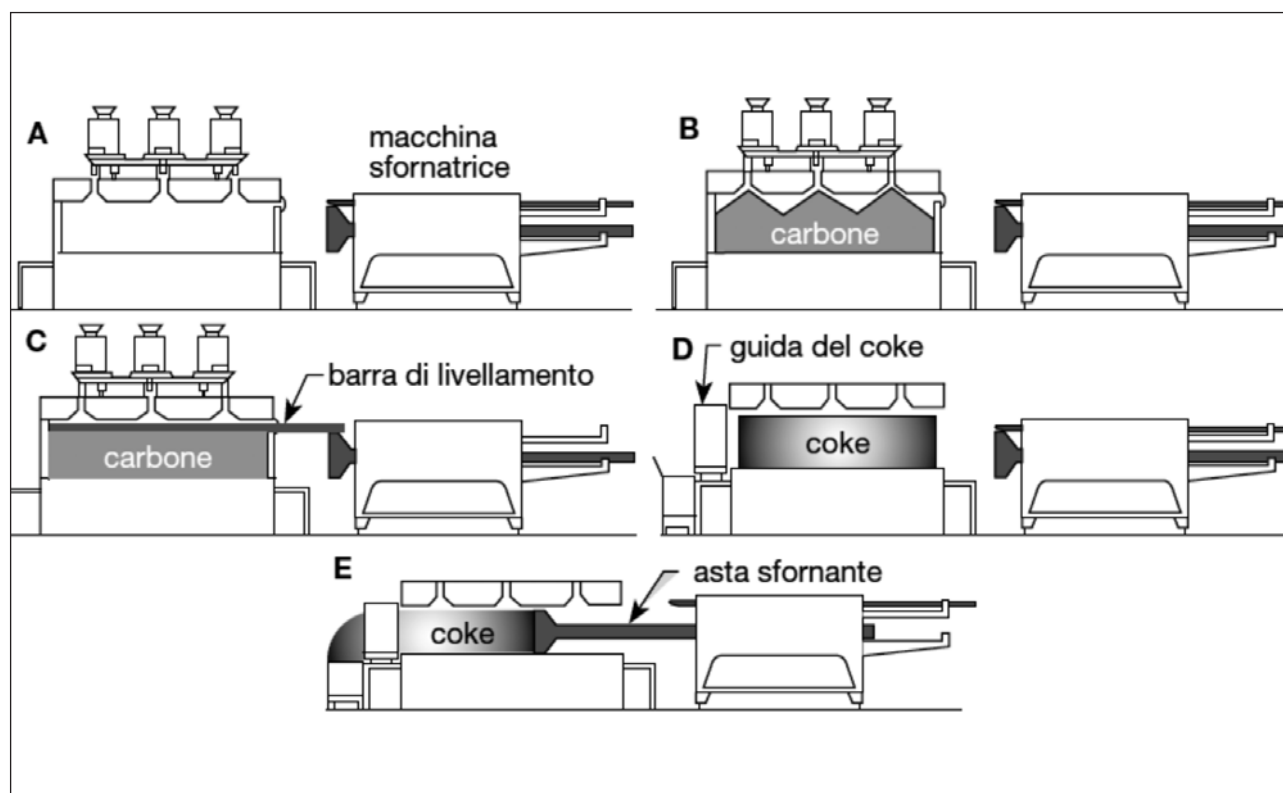


Figura 3. Schema degli stadi dell'operazione di cokefazione

mazione. Durante il processo di spegnimento è bene non ricorrere ad un sistema di spegnimento ad azoto, noto Coke Dry Quenching (CDQ) in modo da evitare la dispersione nell'ambiente di polveri e specie chimiche tossiche. Tale sistema utilizza una corrente di azoto come mezzo raffreddante e prevede il recupero di calore per la produzione di energia elettrica.

Il processo di cokefazione avviene in forni a camere, ciascuna delle quali ha indicativamente dimensioni di 7 m di altezza, tra 14 e 16 m di lunghezza e una larghezza variabile tra 0,35 e 0,5 m, così che sono in grado di caricare una quantità variabile di carbon fossile da 15 a 30 t.

Il carbone adatto per la cokizzazione deve possedere un contenuto di volatili inferiore al 10-32%, una concentrazione di ceneri inferiore al 7% e una concentrazione percentuale in zolfo inferiore al 3-5%, mentre la pezzatura ottimale per il caricamento varia in un intervallo tra 3 e 40 mm.

Il trattamento ha una durata compresa tra 14 e 22 ore ad una temperatura di 1000-1100 °C: maggiori sono il tempo e la temperatura di cokizzazione più elevata risulterà l'accendibilità del coke; non è detto che una superiore attitudine a bruciare rappresenti una condizione favorevole all'esercizio dell'altoforno, poiché può comportare un consumo troppo rapido del coke, che può essere compensato solo attraverso l'aggiunta di una massa maggiore.

Durante il processo di cokizzazione si sviluppano diversi sottoprodotti: solfuri, benzolo, catrame, ammoniaca e naftalina, che vengono convogliati presso altri impianti chimici di raccolta e trattamento, dove sono utilizzati come materie prime. Il maggiore pericolo è la dispersione di benzo(a)pirene prodotto durante la distillazione del coke e che può essere disperso nell'ambiente sia all'apertura delle porte sia durante la cokefazione nel caso in cui i telai delle porte non siano adeguatamente mantenuti.

Differenti reazioni si verificano in corrispondenza di diversi intervalli termici durante la distillazione del carbon fossile:

- 100 °C evaporazione dell'acqua igroscopica;
- 200 °C inizio della decomposizione del carbone;
- 250-340 °C inizio di sviluppo di gas combustibili e rammollimento;
- 290 °C decomposizione dei bitumi oleosi;
- 325-450 °C sviluppo del carbone primario;
- 350-600 °C il carbone è caratterizzato da una significativa pastosità;
- 600 °C termina lo sviluppo del catrame e il processo di solidificazione della massa pastosa con formazione del cosiddetto semi-coke (carbone cokizzato solo parzialmente);
- 1000-1100 °C il processo di cokizzazione si completa realizzando una tipica consistenza porosa.

Preparazione di fondenti e calcare

È opportuno pure un brevissimo cenno sulla preparazione dei fondenti in genere e del calcare in particolare, essendo questo un argomento molto importante per uno stabilimento siderurgico a ciclo integrale. È quindi facile intuire l'opportunità per uno stabilimento di grandi proporzioni, di avere una fonte propria per l'approvvigionamento

del calcare ed un impianto centralizzato per la sua preparazione. Si ricorda in proposito il notevole fabbisogno di questo prodotto non solo per la carica dell'altoforno e per il processo di agglomerazione, ma anche quanto la calce sia necessaria per l'affinazione dell'acciaio.

Generalmente queste quantità vengono fornite da un impianto di calcinazione costruito in modo da soddisfare le esigenze quantitative, qualitative e granulometriche delle singole acciaierie.

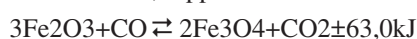
L'altoforno

L'altoforno rappresenta di gran lunga il sistema impiantistico di riduzione e prima fusione predominante in siderurgia per quantità di metallo prodotto. Il 65% della produzione di acciaio dipende dalla produzione di ghisa da parte degli altoforni. Esso è un forno soffiato a tino nel quale dall'alto vengono introdotti come materiali di carica il minerale, il coke, i fondenti oltre ad eventuali aggiunte che costituiscono il cosiddetto letto di fusione, mentre nella parte bassa attraverso gli ugelli viene soffiata dell'aria calda spesso arricchita in ossigeno, denominata vento, che serve ad innescare e sostenere la combustione del coke.

Nella Figura 4 è riportato il profilo di un altoforno, ossia l'intersezione della superficie interna con un piano verticale passante per l'asse di simmetria; si distinguono in esso le seguenti parti che si susseguono procedendo dal basso:

- il crogiolo, avente forma cilindrica, nel quale si raccolgono la ghisa prodotta e le scorie fuse che la sovrastano poiché possiedono una densità (circa 2400-2600 kg/m³) inferiore rispetto a quella del bagno metallico. Nella parte superiore del crogiolo sono praticati i fori per il passaggio degli ugelli, appena sopra la suola sono praticati i fori di colata per la ghisa e per evacuare la loppa;
- la sacca, tronco di cono leggermente aperto verso l'alto;
- il ventre, che è la zona di massimo diametro, normalmente costituita da un brevissimo tratto cilindrico, ma che può talvolta ridursi anche alla semplice circonferenza di intersezione della sacca con il tino (il tratto cilindrico di massimo diametro viene anche chiamato tino cilindrico);
- il tino, secondo tronco di cono con altezza molto maggiore e conicità invertita rispetto alla sacca;
- la bocca, costituita da un breve tratto cilindrico, che può pure ridursi talvolta alla semplice circonferenza terminale del tino. Attraverso la bocca si opera l'introduzione dei materiali di carica.

La riduzione dei minerali di ferro all'altoforno avviene per opera del CO e quindi è necessario prendere in considerazione i successivi equilibri di riduzione degli ossidi di ferro con CO, rappresentati dalle reazioni:



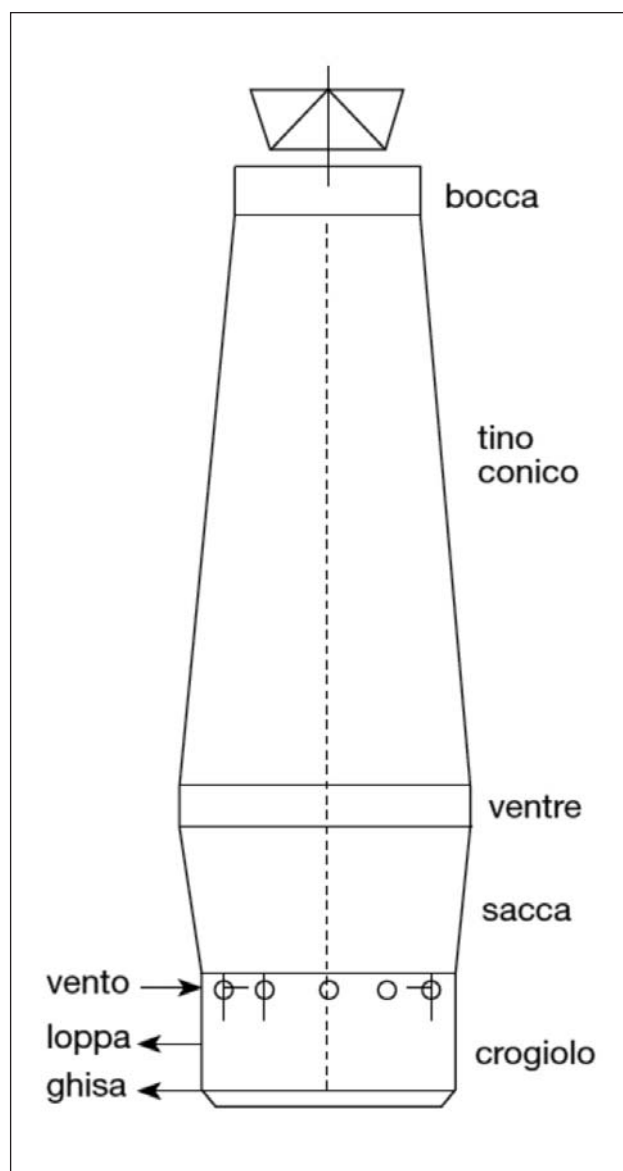


Figura 4. Profilo di un altoforno

Nei processi di fusione la scoria si differenzia dagli altri prodotti: in essa si raccolgono la ganga dei minerali, le ceneri dei combustibili (ove questi sono aggiunti come minerali nella carica) ed i fondenti. Questi ultimi sono aggiunti proprio al solo scopo di correggere la composizione della scoria portandola entro quei limiti che sono desiderati.

A seconda delle ghise prodotte e dei tipi di marcia, la composizione chimica della scoria finale dell'altoforno, o loppa, deve rispondere a particolari requisiti:

- basso costo unitario (essenzialmente per i fluidificanti);
- minimo peso possibile per tonnellata di prodotto onde rendere minimi, a parità di tutto il resto, sia il consumo di combustibile necessario per il suo riscaldamento, sia le perdite di metalli pregiati (naturalmente se la scoria non torna in ciclo o non viene ulteriormente sfruttata in altro modo specifico);
- basse temperature di formazione e di fusione ed elevata fluidità alle temperature di lavoro, onde poter

svolgere nel migliore dei modi la sua funzione di raccolta durante il percolamento tra gli interstizi della carica.

La scoria d'altoforno è del tutto inerte dal punto di vista chimico e viene utilizzata come materia prima nei cementifici. Le scorie d'altoforno allo scarico possono essere lasciate raffreddare lentamente, così da formare una massa dura e densa (1940 kg/m^3) che viene successivamente frantumata, oppure vengono fatte raffreddare attraverso iniezione controllata di acqua, aria, vapore che induce una morfologia cellulare nelle scorie con la realizzazione di un prodotto poco denso (da 800 a 1040 kg/m^3) e con morfologia tipica delle schiume. Se la scoria viene raffreddata e fatta solidificare velocemente attraverso l'azione di aria e acqua all'interno di tamburi rotanti è possibile ottenere frammenti di dimensione controllata (pellets).

Conversione della ghisa in acciaio

La fabbricazione dell'acciaio per conversione della ghisa mediante un agente ossidante gassoso ha mostrato subito il grande vantaggio della rapidità del processo e poiché esso è termochimicamente bilanciato non vi è alcuna necessità di somministrare calore dall'esterno, vincolo questo limitativo alle prestazioni produttive di tutti gli altri tipi di forno.

I processi di conversione con ossigeno ad elevata purezza non incontrano gli inconvenienti dei convertitori ad aria. Poiché viene meno l'azione raffreddante dell'azoto, si può conseguire il desiderato bilanciamento termico senza pressoché alcuna limitazione nei confronti della composizione della ghisa che, in particolare, può essere a basso tenore sia in silicio sia in fosforo. Anzi, la disponibilità termica, per il calore proveniente dalle reazioni di ossidazione degli elementi accompagnatori presenti nella ghisa consente di riscaldare e di fondere una parte rilevante di carica solida. L'acciaio non risente di inquinamenti da azoto, anzi, nell'acciaio prodotto con il convertitore ad ossigeno si mantiene a livelli ($0,002 \div 0,005\%$) inferiori a quelli dell'acciaio prodotto con gli altri processi, nonostante a volte si inietti azoto dai setti porosi posti nella suola del convertitore per mantenere il bagno agitato durante la prima parte della conversione, mentre nell'ultima parte di essa si applica l'agitazione con argon.

Sulla rapida affermazione di questo processo dalla metà del secolo scorso, hanno agito non solo questi vantaggi tecnologici, ma anche l'incremento generale delle produzioni siderurgiche in tale periodo e gli investimenti ingenti operati nel settore.

Per una descrizione sia pure schematica degli impianti delle acciaierie ad ossigeno conviene riferirsi alla sezione trasversale di un'acciaieria riportata in Figura 5, condotta con un piano compreso tra i convertitori che può ben rappresentare lo schema generale di queste acciaierie. Il fabbricato è diviso in tre o quattro campate principali: campata rottami (a destra in figura), campata convertitori (al centro) e una o due campate di colata.

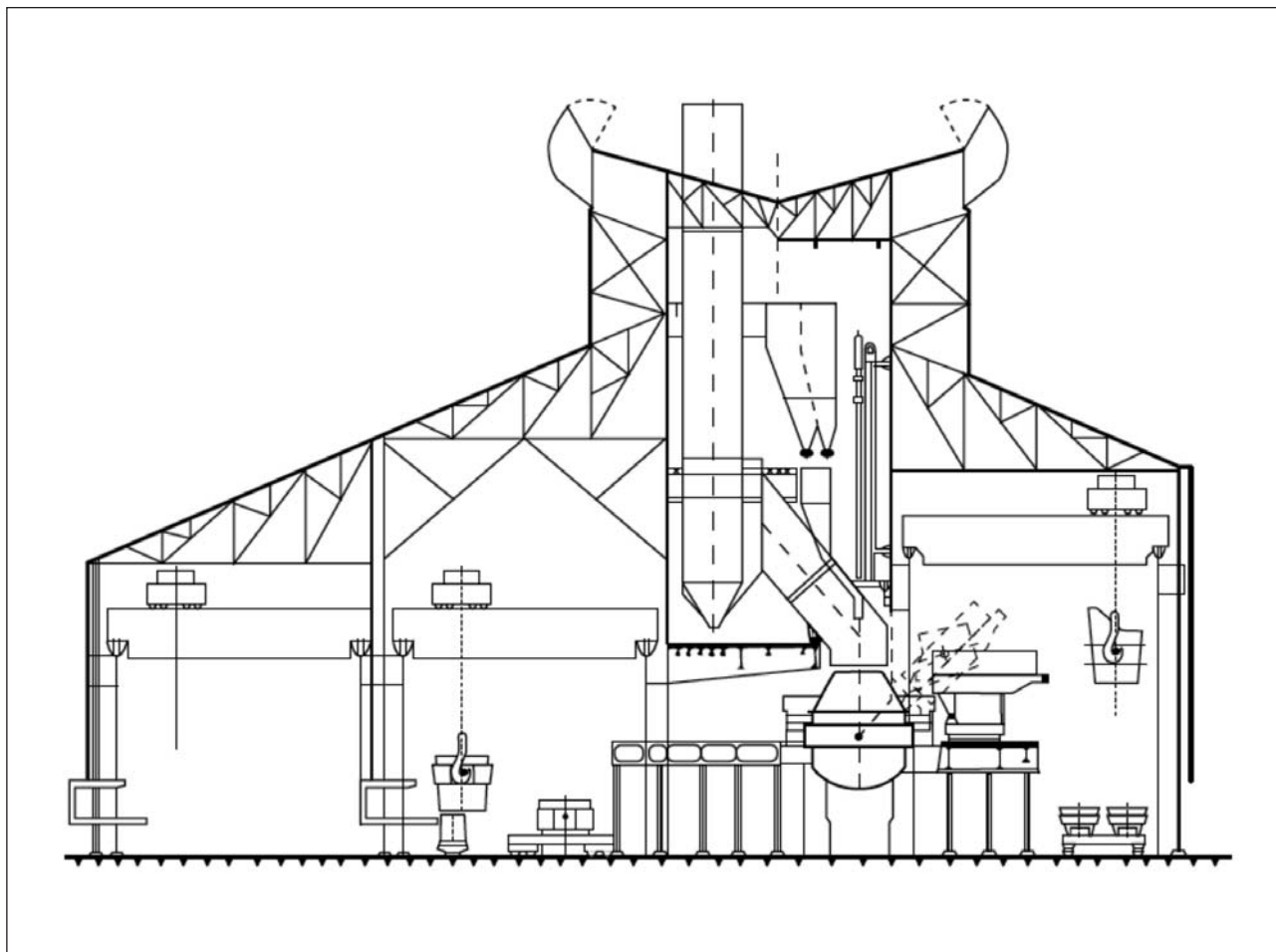


Figura 5. Sezione di un'acciaiaeria dotata di convertitori a ossigeno

Nella campata rottami, dove il lavoro si svolge al piano terra, trovano posto le attrezzature per la carica del rottame e della ghisa. In generale nelle acciaierie a ciclo integrale il rottame è tutto di riciclo (residui di colaggio, spuntature varie, ecc.).

L'accumulo del rottame e la sua preparazione viene eseguita generalmente all'esterno dell'acciaiaeria in appositi piazzali, ove per mezzo di vagoni si provvede al suo trasporto in acciaiaeria dove viene scaricato con carroponti a magnete in apposite casse di carica ed opportunamente pesato.

La ghisa liquida proveniente dall'altoforno, trasportata con siviere o più frequentemente con carri-siluro, viene pesata prima di essere versata nel convertitore.

Nella campata convertitori trovano posto, oltre ai convertitori, i silo degli additivi completi dei sistemi di caricamento, l'impianto di captazione e raffreddamento fumi e tutte le attrezzature connesse al soffiaggio dell'ossigeno, alla riparazione del convertitore e alle relative apparecchiature di manovra.

Normalmente, sopraelevati nella campata vi sono diversi piani di lavoro:

- un piano di carica dei convertitori (a circa 10 m dal piano terra) dal quale si seguono le colate, eseguendo tutte le operazioni di controllo del processo di affinazione;
- un piano (a circa 20 m di quota) all'altezza della bocca

dei convertitori, per le operazioni relative al rivestimento refrattario dei convertitori;

- un terzo piano (a circa 35 m di quota) dove si trovano le tramogge pesatrici degli additivi;
- infine un quarto piano (a circa 50 m dal suolo) in corrispondenza del bordo superiore dei silo contenenti calce, fluorina e minerale di ferro.

Nella campata di colata, oltre alla macchina di colata continua, sono previste tutte le normali attrezzature di questo reparto comprese le siviere e gli equipaggiamenti connessi alle varie manutenzioni. I convertitori del processo L.D. (Linz-Domawitz, le città austriache dove fu sperimentato) (Figura 6), conosciuti anche con diverse altre terminologie anglosassoni: BOP (Basic Oxygen Process), BOS (Basic Oxygen Steelmaking), BOF (Basic Oxygen Furnace), ecc., sono sempre stati a cono simmetrico e a fondo chiuso, e costituiti nelle parti essenziali da: un anellone di sostegno con perni, cuscinetti d'appoggio e gruppo riduttore di rotazione; una struttura metallica in lamiera dello spessore delle colate, eseguendo tutte le operazioni di controllo del processo di affinazione.

Lo strato del refrattario di usura, durante l'esercizio, è a contatto con i materiali di carica e subisce una continua erosione sia di natura meccanica, per il movimento dei materiali durante il caricamento, sia di natura chimica per il contatto con la scoria ossidante di affinazione.

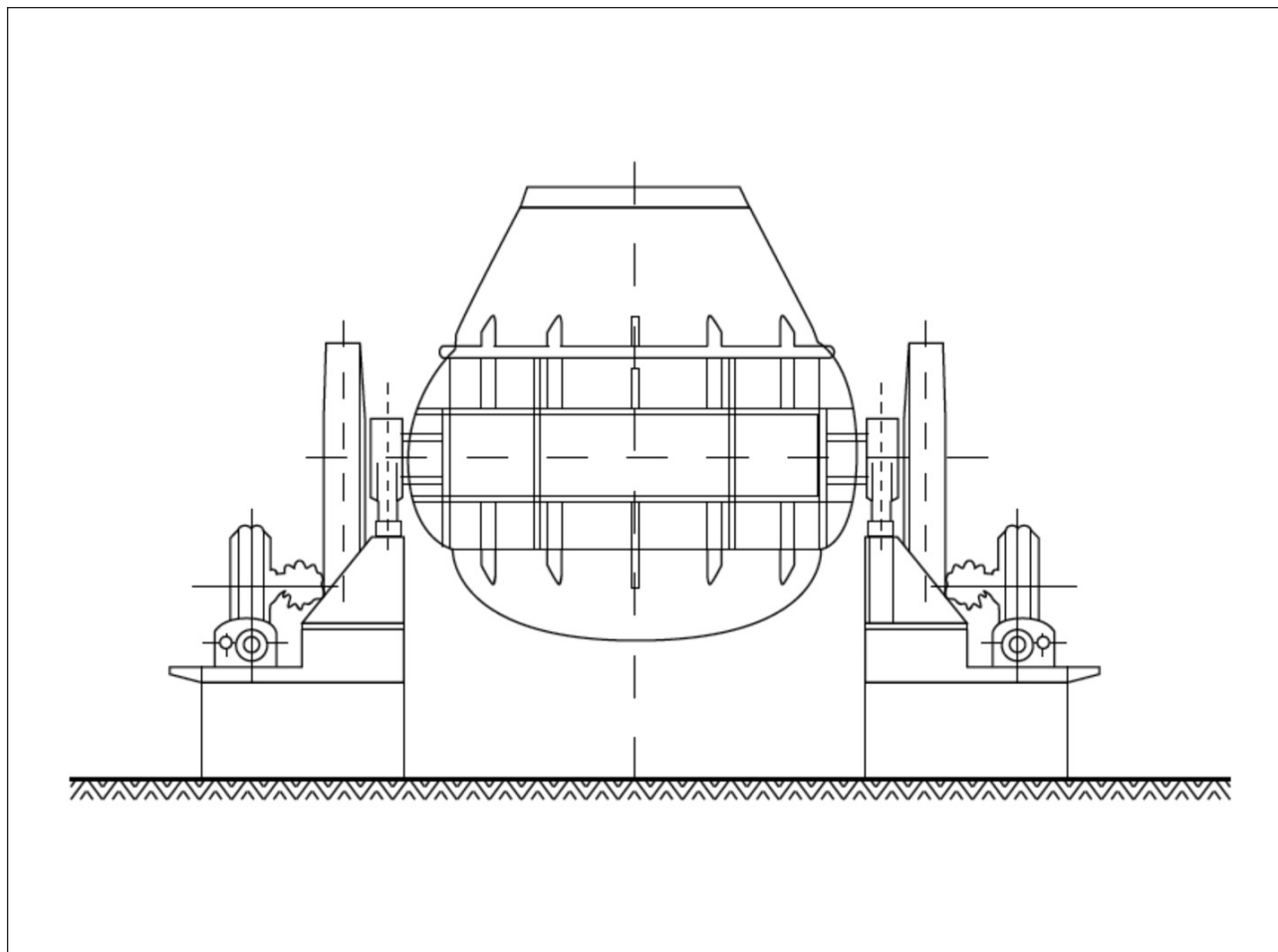


Figura 6. Vista frontale di un convertitore a ossigeno

Le parti maggiormente soggette a questa erosione sono la zona cilindrica e, per ovvie ragioni, il foro di colata. L'esercizio dell'acciaieria è continuo poiché, fermo un convertitore per manutenzione, deve esserne pronto un secondo per non interrompere la produzione.

Il maggiore pericolo ambientale del processo di conversione della ghisa è associato all'insorgere del fenomeno di slopping che consiste nell'eruzione del materiale contenuto nel convertitore a causa di un repentino riscaldamento della ghisa, della rapida formazione di bolle di monossido di carbonio che rimangono intrappolate nella scoria fredda. La scoria si gonfia progressivamente sino a dar luogo all'eruzione e ad intense fumate rosse che si propagano anche al di fuori dell'acciaieria. Anche se la granulometria della dispersione è ampia e le specie chimiche emesse non risultano tossiche o nocive si tratta di un fenomeno fastidioso e che rischia di sporcare le aree circostanti l'impianto con materiali di colorazione rossastra. Al crescere della concentrazione di silicio (e di manganese) nella ghisa aumenta anche il rischio che questo evento si verifichi.

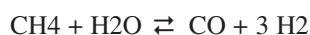
Alternative all'utilizzo del carbone per la riduzione del metallo

In questi processi viene impiegato come agente riduttore del gas di reforming in un reattore verticale a più

zone ed è possibile utilizzare una vasta gamma di materiali di carica come pellets e minerale in varia pezzatura (compreso anche un 10% di fini). La finalità del processo è evitare la cokefazione del carbone che risulta essere la lavorazione più critica dal punto di vista ambientale. Sia le caratteristiche chimiche della carica che quelle fisiche, condizionano i parametri del processo le cui principali componenti sono: l'impianto di reforming, la fornace verticale a lancia e l'unità di recupero del calore (Figura 7).

L'impianto di reforming può essere di vari tipi: nella maggior parte delle realizzazioni vengono utilizzati reforming stechiometrici che consentono un risparmio di energia rispetto a quelli convenzionali.

Le reazioni che avvengono nel reformer sono le seguenti:



Per evitare la deposizione di carbonio piroforico occorre operare con un rapporto H_2/CO superiore a 1,5.

L'efficienza termica del processo è controllata dall'unità di recupero del calore costituita da due serie di fasci tubieri attraversati dai gas caldi in uscita dal reforming. È possibile così riscaldare (a circa 675 °C) l'aria necessaria alla combustione nel reformer come pure (a

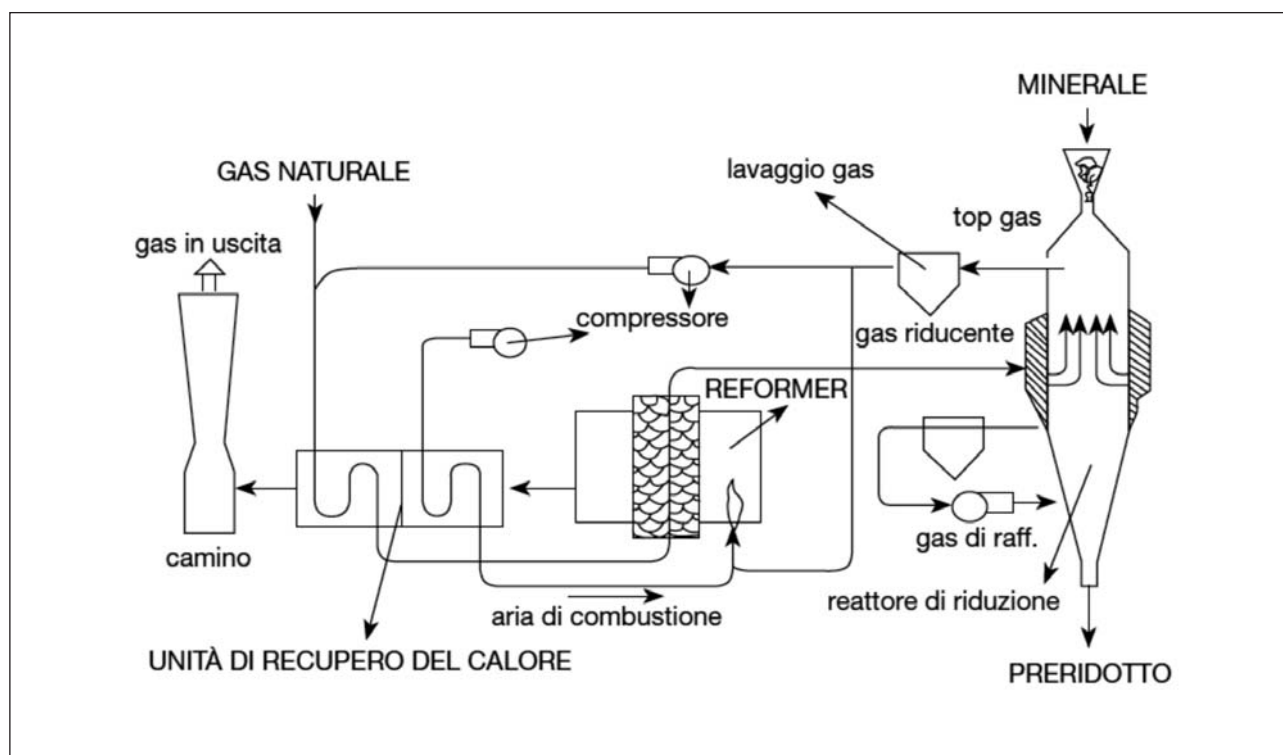


Figura 7. Schema di un processo di riduzione diretta con utilizzo di gas naturale

circa 540 °C) la miscela dei gas naturali e riducenti uscenti dalla parte superiore della fornace e destinati anch'essi al reformer. Un interesse fondamentale riveste il forno verticale a forma di lancia, generalmente di 5-6 metri di diametro, suddiviso in varie zone: zona di carica degli ossidi di ferro, zona di riduzione, zona di transizione, zona di raffreddamento e zona di scarico del preridotto che risulta essere poi caricabile nei forni elettrici senza che questi soffrano del problema dello slopping.

Bibliografia

- 1) Nicodemi W, Mapelli C. Siderurgia. AIM, 2011.
- 2) Rainer Remus, Miguel A. Aguado-Monsonet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho. Reference Document for Iron and Steel Production Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control, European Commission Joint Research Centre Institute for prospective technological studies, 2013.
- 3) Barella S, Gruttadauria A, Mapelli C, Mombelli D. Journal Ironmaking & Steelmaking, Volume 39, 2012 - Issue 6.

Corrispondenza: Carlo Mapelli, Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano, via La Masa 1, 20156 Milano (Italy), E-mail: carlo.mapelli@polimi.it

Danilo Cottica¹, Elena Grignani¹, Giuseppe De Palma², Piero Lovreglio³

Il rischio chimico e cancerogeno nell'industria siderurgica

¹ Centro Ricerche Ambientali, Istituti Clinici Scientifici Maugeri, S.p.A. SB, Pavia-Padova, Padova

² Dipartimento di Specialità Medico Chirurgiche, Scienze Radiologiche e Sanità Pubblica, Università degli Studi di Brescia, Brescia

³ Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro 'EC Vigliani', Università degli Studi di Bari, Bari

RIASSUNTO. Il settore della siderurgia, nel complesso delle sue componenti produttive, cokerie, acciaierie, fonderie, costituisce una parte significativa dell'economia nazionale. I principali fattori di rischio per la salute sono correlati ad agenti fisici quali rumore e stress termico e particolarmente alla presenza di agenti chimici, quali polveri inalabili e respirabili, silice libera cristallina, fibre minerali sintetiche, metalli, vapori di sostanze organiche più o meno complesse (benzene, idrocarburi aromatici policiclici, policloro dibenzo diossine, policloro dibenzo furani, policloro bifenili, ecc.), gas (idrogeno solforato, ossido di carbonio, ossidi d'azoto, ecc.). Il lavoro presenta una sintesi dei processi produttivi e degli agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni ad essi correlati e potenzialmente presenti nel settore.

Parole chiave: esposizione ad agenti chimici in siderurgia, monitoraggio degli agenti chimici in siderurgia.

ABSTRACT. THE CHEMICAL AND CARCINOGENIC RISK IN THE STEEL INDUSTRY. The sector of the steel industry, in the complex of his productive components, coking, steelworks, foundries, constitute a meaningful part of the national economy. The principal health risk factors are correlated to physical agents like noise and thermal stress and in particular to the presence of chemical agents like inhalable and respirable dusts, crystalline silica, synthetic mineral fibers, metals, vapors of more or less complex organic substances (benzene, polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated dibenzo dioxins, polychlorinated dibenzofurans, polychlorinated biphenils, etc.), gases (hydrogen sulfide, carbon monoxide, nitrogen oxides).

The paper introduces a synthesis of the productive plants, of the dangerous chemical agents, carcinogens and mutagenic to them correlated and potentially present in the sector.

Key words: exposure to chemical agents in the steel industry, monitoring of the chemical agents in the steel industry.

Introduzione

Il settore della siderurgia, nel complesso delle sue componenti produttive, cokerie, acciaierie, fonderie, costituisce una parte rilevante dell'economia nazionale.

Sebbene il comparto siderurgico negli ultimi anni abbia subito significativi ridimensionamenti occupazionali, legati soprattutto a motivazioni che derivano dal mercato cui è destinato il prodotto (settori dell'edilizia, meccanica pesante, industria automobilistica, ecc.) nonché dall'evoluzione tecnologica e impiantistica che, con l'automazione dei processi produttivi, di fatto ha ridotto la presenza di operatori sugli impianti, riveste ancora un'ampia rilevanza per la tutela della salute, sia in termini di personale potenzialmente esposto che per la tipologia degli agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni correlati.

In questo settore sono riscontrabili numerosi pericoli che possono portare ad un'ampia tipologia di danni fisici e malattie per i lavoratori. Per gli infortuni legati alla sicurezza si possono citare la complessità e lo sviluppo strutturale degli impianti, le fiamme libere, le superfici ad alta temperatura, il rischio d'incendio ed esplosioni per la presenza di gas, la movimentazione di carichi rilevanti. Per la salute i principali fattori di rischio sono correlati ad agenti fisici tra cui rumore, stress termico, radiazioni ottiche, e particolare rilevanza assume la presenza di agenti chimici quali Polveri Inalabili (PI) e Respirabili (PR) (1); Silice Libera Cristallina (SLC); Fibre Artificiali Vetrose (FAV) in particolare quelle classificate "ceramiche"; Metalli (Me) [Al, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, Pb, Fe, Cr, Be] (2); Sostanze Organiche Volatili (SOV) più o meno complesse [idrocarburi alifatici, alchil aromatici, naftenici, benzene] (3); Idrocarburi Aromatici Policiclici (IAP) (4); Policloro Dibenzo Diossine (PCDDs), Policloro Dibenzo Furani (PCDFs), Policloro Bifenili (PCBs), derivanti dalla fusione dei rottami, ferrosi e non ferrosi per la produzione di semilavorati, nonché dalla decomposizione termica dei materiali plastici (resine termoplastiche e termoindurenti) in essi contenuti e non rimossi prima della fusione ad elevate temperature (5,6); Gas [ammoniaca (NH₃), idrogeno solforato (H₂S), ossido di carbonio (CO), ossidi d'azoto (NO_x), ecc.] (7).

Nell'industria siderurgica i cosiddetti stabilimenti a ciclo integrato comprendono la trasformazione del carbon fossile in coke, la preparazione dei minerali, la loro riduzione in ghisa nell'altoforno, la successiva conversione in acciaio della composizione stabilita, il trasferimento in apposite siviere per le operazioni di colata in continuo o la produzione di lingotti, nonché, mediante lavorazioni plastiche a caldo e a freddo, la trasformazione in una vasta gamma di prodotti finiti (8). In Figura 1 sono rappresentati, in modo schematico, gli impianti ed i flussi dei materiali che costituiscono le fasi produttive di un ciclo integrato.

Il lavoro presenta una sintesi dei processi produttivi, degli agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni correlati potenzialmente presenti nel settore (1,2,3).

Processi produttivi

Agenti chimici potenzialmente presenti

Processi di Agglomerazione

SINTERIZZAZIONE

La parte dei minerali di ferro stoccati a parco che, per pezzatura o per caratteristiche chimiche non può essere caricata direttamente nell'altoforno, e le materie prime dedicate alla produzione dell'agglomerato (coke, calcare, additivi) subiscono un processo di sinterizzazione nell'impianto di agglomerazione minerali, con lo scopo di rendere disponibile per l'altoforno una carica dalle caratteristiche opportunamente definite sia dal punto di vista chimi-

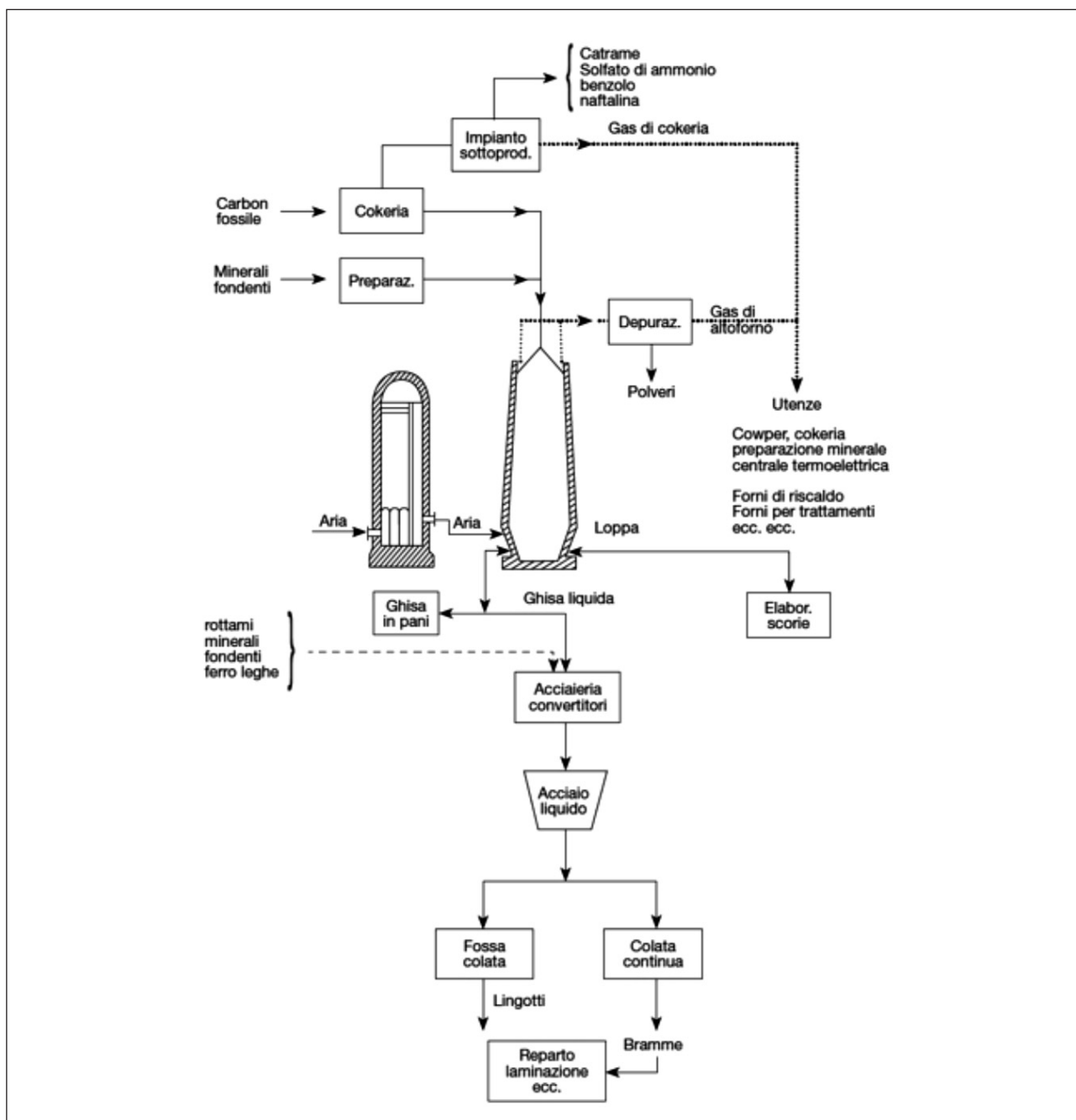


Figura 1. Ciclo integrato: schema degli impianti e del flusso dei materiali

co che meccanico. In tale impianto, i minerali dosati, opportunamente umidificati, con l'aggiunta di carbon coke in pezzatura da 0,15 a 3 mm e dei necessari materiali correttivi (fondenti), formano una miscela che è distribuita per mezzo di opportuno dosatore su un nastro metallico mobile.

Poiché il processo di sinterizzazione potrebbe portare alla formazione di PCDDs, PCDFs e PCBs alla miscela è additivata anche una piccola quantità di urea, generalmente in perline, pari al 0,15% in peso della carica, quale inibitore della loro formazione nel processo di cottura.

Il processo di sinterizzazione avviene ad una temperatura di 1200°C ed è innescato da bruciatori ("fornetti") alimentati con una miscela di gas di cokeria (eventualmente sostituito da gas metano) e gas di altoforno, e completato con il coke presente nella carica. Alla fine del ciclo di cottura il coke presente nella miscela risulta completamente bruciato ed il minerale di ferro completamente agglomerato.

Il processo di sinterizzazione può comportare emissioni diffuse di polveri (PI e FR) nelle aree sinterizzazione, frantumazione e vaglio, raffreddamento e vagliatura a freddo.

Agenti chimici potenzialmente presenti:

PI – PR – SOV – IAP – PCDDs – PCDFs – PCBs – Me – H₂S.

Monitoraggi:

Posizioni Fisse presso aree movimentazione/carico/scarico materiali; Cabina di controllo;

Campionamenti personali: addetti controllo impianto; operatori esterni polivalenti.

PELLETTIZZAZIONE

Il processo di pellettizzazione, adatto all'agglomerazione di minerale di consistenza polverulenta (*particelle con diametro da <0,075 a 0,15 mm*), non comporta la formazione di diossine. Le operazioni principali della pellettizzazione consistono in un impasto dei "fini" con opportuno dosaggio di acqua e agglomerante sopra dischi o tamburi rotanti nei quali si ha la formazione di piccole masse sferoidali delle dimensioni volute (*dette "pellets verdi"*) e in un essiccamento di queste in forni fino ad ottenere la consistenza desiderata; il prodotto consiste in un agglomerato con dimensioni di 10-25 mm di diametro, detto appunto "*pellet*".

Per quanto riguarda le emissioni diffuse di polveri vanno considerate le aree caricamento materie prime, a monte della miscelazione con acqua, e la zona forni di essiccamento dei pellet.

Agenti chimici potenzialmente presenti:

PI – PR – SOV – IAP – Me.

Monitoraggi:

Posizioni Fisse (PI – PR – Me) presso aree movimentazione/carico materiali polverulenti prima della miscelazione con acqua; (PI – PR – SOV – IAP – Me) scarico materiali dopo essiccamento; (PI – PR – SOV – IAP – Me) Cabina di controllo;

Campionamenti personali: (PI – PR – SOV – IAP – Me) addetti controllo impianto; operatori esterni polivalenti.

Cokefazione

Il carbone adatto per la cokefazione deve possedere un contenuto di volatili inferiore al 10-32%, una concentrazione di ceneri inferiore al 7% e una concentrazione percentuale in zolfo inferiore al 3-5% da cui si deduce la potenziale aerodispersione di una serie complessa di agenti chimici d'interesse tossicologico.

Il processo di preparazione del coke avviene attraverso il trattamento termico delle miscele di carbone, prodotte nella fase di agglomerazione, in batterie di appositi forni. Il trattamento ha una durata di circa 15 ore ad una temperatura di 1000-1100 °C. Al termine del processo di distillazione (allontanamento della frazione volatile/medio-alto bollente), il coke viene spinto fuori da ogni cella mediante una macchina sfornatrice scorrevole lungo la batteria dei forni. Il coke così prodotto è caricato direttamente su un carro per il trasporto sotto la torre di spegnimento a pioggia d'acqua. Appena spento, il coke tramite nastri trasportatori viene convogliato all'impianto di frantumazione.

Dal punto di vista degli agenti chimici che si sviluppano dal trattamento termico del carbon fossile, rivestono particolare rilevanza le reazioni chimico fisiche che interessano il materiale presente nei forni:

- 100 °C evaporazione dell'acqua e delle SOV basso bollenti;
- 200 °C inizio della decomposizione del carbone ed evaporazione delle SOV medio/alto bollenti;
- 250-340 °C sviluppo di gas combustibili (idrocarburi a vario peso molecolare);
- 290 °C decomposizione dei bitumi oleosi;
- 325-450 °C sviluppo del carbone primario;
- 600 °C fine estrazione delle sostanze componenti del catrame;
- 1000-1100 °C completamento del processo di cokefazione, il carbone assume consistenza porosa.

Durante il processo di cokefazione si sviluppano numerose sostanze come prodotti secondari (mediamente per ogni 1000 kg di carbone fossile vengono ottenuti 300 Nm³ di gas, 700 kg di coke, 55 kg di idrocarburi pesanti e aromatici): idrogeno, metano, ossido di carbonio, solfuri, benzene, idrocarburi alchil-aromatici, composti catramosi, naftalene, ammoniaca, idrogeno solforato, che vengono convogliati presso altri impianti chimici di raccolta per il loro reimpiego come materie prime e/o trattamento (tale miscuglio, per poter essere utilizzato come combustibile, deve subire un trattamento volto a rimuovere il catrame, mediante condensazione; l'ammoniaca, per assorbimento con acqua o acido solforico; il naftalene per assorbimento con olio di antracene; l'idrogeno solforato, mediante processi ad assorbimento (*con carbonato di sodio o di potassio*) oppure ossidativi. In questa fase è risultata rilevante l'aerodispersione di benzene ed IAP e, tra questi, del composto più rappresentativo di questa famiglia di agenti chimici, il benzo(a)pirene (BaP) classificato come sostanza cancerogena di classe 1 dall'International Agency for Research on Cancer (IARC) (4); queste sostanze sono

presenti nella distillazione del coke e possono aerodispersarsi nell'ambiente di lavoro durante il ciclo di trattamento per problemi di tenuta delle porte di caricamento dei forni, delle apparecchiature/conduitture asservite all'impianto e dar luogo ad emissioni diffuse; le principali sostanze e posizioni d'interesse sono le seguenti caricamento fossile in tramogge caricatrice: PI e PR; caricamento del fossile nei forni: PI, PR, Benzene, SOV, IAP; perdite dalle porte PI, PR, Benzene, SOV, IAP; perdite da colonne di sviluppo e coperchi PI, PR, Benzene, SOV, IAP; sfornamento del coke: PI, PR, Benzene, SOV, IAP; spegnimento del coke PI, PR, Benzene, SOV, IAP.

Momenti di particolare ed intensa aerodispersione di queste sostanze potrebbero verificarsi all'apertura delle porte dei forni per lo scarico del coke o durante visite ispettive sugli impianti.

ALTOFORNO PER LA PRODUZIONE DELLA GHISA

L'altoforno è l'impianto in cui avviene la riduzione primaria dei materiali ferrosi attraverso la combustione del coke.

Nella Figura 2 è riportato schematicamente il complesso degli impianti e dei materiali che supportano il fun-

zionamento di un altoforno: il minerale di ferro, i coadiuvanti della fusione (fondente) ed il carbone sono caricati nell'altoforno, mediante nastri trasportatori/elevatori a tazze, dalla bocca superiore dell'altoforno formando strati di coke, fondente e minerali di ferro; in controcorrente dal basso del forno è insufflata aria calda a circa 1200 °C. Altre parti dell'impianto a supporto dell'altoforno sono il crogiolo per la colata della ghisa, la siviera per la raccolta delle scorie (o "loppa"), la siviera di colata, un sistema per la separazione delle particelle solide, le condotte per convogliare l'aria calda all'altoforno ed infine l'emissione convogliata alla ciminiera.

Nell'altoforno avviene la riduzione dei minerali di ferro (ossidi Fe_2O_3 , Fe_3O_4 a Fe) ad opera del CO.

Nella scoria o "loppa" si raccolgono la ganga dei minerali, le ceneri dei combustibili ed i fondenti. A seconda del trattamento subito, le scorie d'altoforno possono formare una massa solida che andrà successivamente frantumata oppure, mediante un processo di raffreddamento controllato con acqua, vapore ed aria, un prodotto a bassa densità sotto forma di pellets con dimensioni controllate. La scoria d'altoforno è utilizzata come materia prima nei cementifici.

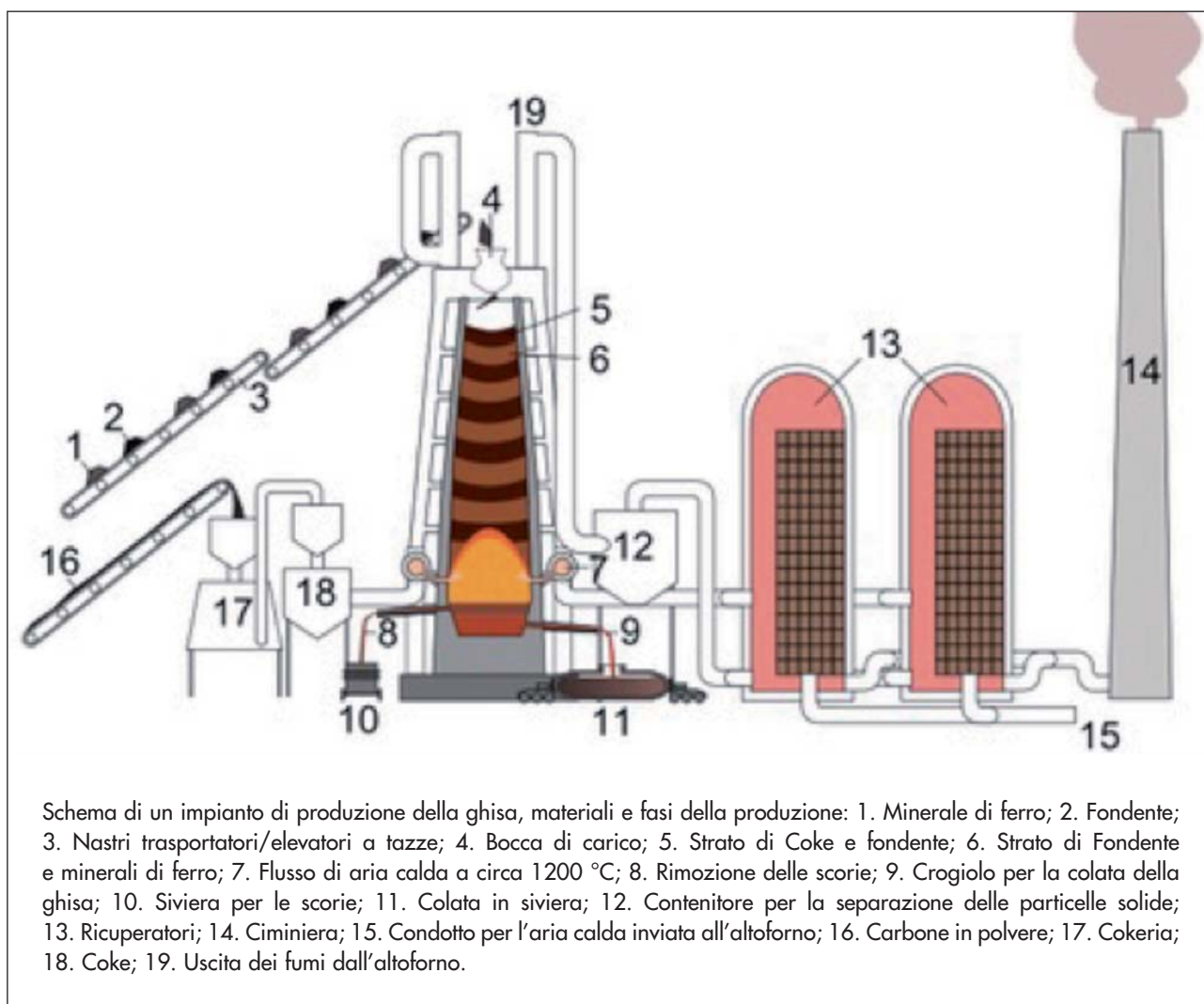


Figura 2. Schema fasi produzione della ghisa

Agenti chimici potenzialmente presenti:

PI – PR – SLC – SOV (benzene) – FAV (ceramiche) – NH₃ – CO – H₂S – NO_x – IAP – Me.

Monitoraggi:

Considerata la complessità dell'impianto nelle sue componenti si ritiene più opportuno riportare in Tabella I, in modo schematico, una possibile strategia di campionamento, chiaramente adattabile alle reali situazioni impiantistiche, sia per quanto riguarda le posizioni fisse che i campionamenti personali degli operatori appartenenti ai GOE individuati.

ACCIAIERIA - CONVERSIONE DELLA GHISA IN ACCIAIOConvertitori ad ossigeno

Il processo chimico fisico di conversione della ghisa in acciaio ritenuto tecnologicamente ed economicamente più vantaggioso prevede l'impiego di un agente ossidante gassoso quale l'ossigeno ad elevata purezza. I forni di affinazione attualmente impiegati sono i cosiddetti convertitori a ossigeno.

Schematicamente gli impianti delle acciaierie ad ossigeno sono collocati in un unico fabbricato diviso in tre o quattro campate principali: campata rottami, campata convertitori ed una o due campate di colata.

Poiché l'individuazione delle aree di lavoro riveste particolare importanza al fine dell'individuazione dei relativi rischi d'esposizione ad agenti chimici per gli operatori addetti alle varie mansioni [Gruppi Omogenei d'Esposizione (GOE)] di seguito si descriveranno le potenziali aree di lavoro all'interno di un'acciaieria.

Nella campata rottami, dove il lavoro si svolge al piano terra, sono collocate le attrezzature per la carica del rottame (generalmente costituito da materiale di riciclo) e della ghisa.

Lo stoccaggio del rottame e la sua preparazione avviene generalmente all'esterno del fabbricato dell'acciaieria, in appositi piazzali e da lì, mediante vagoni, si provvede al suo trasporto in acciaieria dove, con carriponte a magnete, viene scaricato in apposite casse di carica e pesato in funzione delle esigenze produttive.

La ghisa liquida proveniente dall'altoforno, trasportata con siviere o più frequentemente con i cosiddetti "carri-siluro", viene a sua volta pesata prima di essere versata nel convertitore.

Nella campata convertitori trovano posto, oltre ai convertitori, i silili degli additivi completi dei sistemi di caricamento, l'impianto di aspirazione e raffreddamento fumi e tutte le attrezzature connesse al soffiaggio dell'ossigeno, alla riparazione del convertitore e alle relative apparecchiature di manovra.

Normalmente, a quote diverse rispetto al piano campagna, nella campata convertitori vi sono diversi piani di lavoro:

- un piano di carica dei convertitori (h circa 10 m) dal quale si seguono le colate, eseguendo tutte le operazioni di controllo del processo di affinazione;
- un piano (h circa 20 m) all'altezza della bocca dei convertitori, per le operazioni relative al rivestimento refrattario dei convertitori;
- un terzo piano (h circa 35 m) dove si trovano le tramogge pesatrici degli additivi;
- infine un quarto piano (h circa 50 m) in corrispondenza del bordo superiore dei silili contenenti calce, fluorina e minerale di ferro.

Nella campata di colata sono previste tutte le normali attrezzature di questo reparto comprese le siviere e gli equipaggiamenti connessi alle varie manutenzioni.

Lo strato del refrattario di usura, durante l'esercizio, è a contatto con i materiali di carica e subisce una continua erosione sia di natura meccanica, per il movimento dei materiali durante il caricamento, sia di natura chimica per il contatto con la scoria ossidante di affinazione.

Le parti maggiormente soggette a questa erosione sono la zona cilindrica e, per ovvie ragioni, il foro di colata; poiché il ciclo produttivo dell'acciaieria è continuo, fermo un convertitore per manutenzione, deve esserne pronto un secondo per non interrompere la produzione di conseguenza l'attività di manutenzione/rifacimento del refrattario è un'attività pressoché continua.

Tabella I. Cokeria – Posizioni di campionamento, campionamenti personali, agenti chimici potenzialmente presenti

Attività/impianto campionamenti in Posizioni Fisse	Agenti chimici	Mansioni/GOE campionamenti personali
Cabine controllo impianto e carico forni cokeria	PI – PR – SLC – SOV – IAP – Me – CO – NO _x – NH ₃ – H ₂ S	- addetti cabine controllo - addetto carro sfornatrice - operatori esterni polivalenti - addetti manutenzione
Riscaldamento batterie forni coke		
Sfornatrice coke		
Raffreddatore agglomerato		
Area colata	PI – PR – SLC – Me – IAP	- addetti cabina controllo altoforno - addetti colata ghisa
Area rifacimento siviere	PI – PR – SLC – FAV (fibre ceramiche refrattarie)	- addetti rifacimento refrattario

Forno elettrico ad arco

Il forno elettrico ad arco (in gergo internazionale EAF - Electric Arc Furnace) per la sua enorme versatilità è ampiamente impiegato in siderurgia per trattare la ghisa o per produrre acciaio da rottame ferroso, avendo il vantaggio di consentire il rapido raggiungimento di temperature elevatissime e facilmente regolabili, nonché la fabbricazione di acciai di altissima qualità.

I forni oggi maggiormente impiegati sono del tipo ad arco diretto a suola non conduttrice; sono provvisti di due o tre elettrodi di grafite (con diametro di 50 – 80 cm) che producono archi elettrici tra gli elettrodi stessi ed il bagno metallico e viceversa. I moderni forni consentono elevate produzioni quantitative, qualità significative, risparmi per ferroleghie, refrattari, elettrodi.

Il forno elettrico è composto da:

- una suola costituita da una struttura metallica concava rivestita interamente da refrattari destinati a contenere l'acciaio fuso e la scoria; essa è opportunamente sagomata in modo da poter assumere diverse inclinazioni durante le varie operazioni eseguite, quali spillaggio e scorifica;
- un tino, detto anche gabbia, di forma cilindrica, costituito da pannelli raffreddati ad acqua e destinato a contenere i materiali che devono essere fusi;
- la volta, che costituisce il coperchio del forno, anch'essa raffreddata ad acqua, e provvista di tre fori per gli elettrodi e di un quarto foro, più grande, per l'aspirazione dei gas e dei fumi che si sviluppano durante il processo.

Il rivestimento refrattario del forno è costituito da due strati: quello più interno è permanente e dura tutta la vita del tino, mentre quello più esterno, a contatto con l'acciaio, di tipo basico, viene realizzato con magnesite (MgO) e dolomite ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$) e dura per circa 100 colate.

Oltre alla carica metallica propriamente detta, costituita da rottami di ferro (~90%) e ghisa (~10%), vengono aggiunti anche scorificanti (soprattutto calce e silice), aventi la funzione di promuovere la formazione della scoria, al cui contatto avvengono tutte le reazioni chimiche che hanno luogo nel metallo fuso, ed eventualmente carbone per regolare la quantità di *Carbonio* in lega.

Raggiunto il melt-down (quando tutto il rottame risulta fuso) nella parte inferiore del forno si è formata una pozza contenente le due fasi caratteristiche metallo fuso (sotto) e scoria (sopra):

- il *bagno metallico* è costituito da Fe liquido con disciolte percentuali variabili di vari elementi quali: C, Si, Mn, Al, Zn, Cr, V, W, Ti, Ni, Co, Cu, Mo, Sn, ecc.;
- la *scoria* è costituita da CaO (40 ÷ 60%), SiO_2 (5 ÷ 15%), FeO (10 ÷ 30%), MgO (3 ÷ 8%), MnO (2 ÷ 5%), ed inoltre Al_2O_3 , P_2O_5 , CuS , MnS , ecc., con composizioni molto variabili a seconda della qualità delle materie prime introdotte e delle particolari condizioni operative.

L'organizzazione produttiva prevede che il forno, dopo due o tre successive cariche di rottame, raggiunga rapidamente la fusione del materiale e che l'acciaio grezzo

venga poi travasato per la “*finitura*” in un secondo impianto denominato *forno siviera* o *Ladle Furnace (L.F.)*.

Il *forno siviera* è uno speciale contenitore in acciaio, rivestito internamente di refrattario, nel quale l'acciaio liquido, mantenuto caldo mediante riscaldamento elettrico con anodi di grafite, viene decarburato ed elaborato con accuratissimi dosaggi dei vari elementi di lega per ottenere la qualità metallurgica desiderata.

Nella colata in lingotti l'acciaio viene versato in lingottiere disposte su carri di colata. La colata può essere:

- diretta: il metallo liquido è versato per gravità direttamente nella lingottiera;
- in sorgente: l'acciaio fuso è scaricato in una colonna che rigurgita dal fondo della lingottiera;
- sotto vuoto: per la produzione di grossi lingotti, per evitare occlusioni gassose.

Dopo il colaggio, appena solidificati, i lingotti vengono estratti dalle lingottiere (strippaggio) e depositati in appositi ambienti per un raffreddamento completo.

La *colata continua* è un processo con il quale si producono semilavorati in acciaio a sezione costante attraverso un procedimento analogo all'estrusione ed in cui il metallo liquido viene fatto passare per forza di gravità attraverso forme permanenti in rame (*lingottiere*) raffreddate esternamente con acqua e lubrificate per ridurre l'usura.

Dalla siviera il bagno metallico viene colato, attraverso un tubo in refrattario (*busetta*) che assicura un deflusso regolare all'acciaio, in un recipiente, rivestito anch'esso in refrattario, chiamato *paniera* (o *tundish*).

La *paniera*, di forma allungata, consente di uniformare il battente metallostatico e di ripartire l'acciaio fra 4 o più diverse linee di colata operanti in parallelo, a loro volta collegate alla *paniera* mediante tubi ceramizzati (*scaricatori*) che fungono da sistemi di regolazione del getto.

Nella struttura dei forni di riscaldamento, delle siviere e delle paniere è riscontrata la presenza di Fibre Artificiali vetrose che, per il loro contenuto di ossidi alcalino ed alcalino terrosi (< 18%), sono classificate Fibre Ceramiche Refrattarie classificate dalla IARC cancerogeni 2B. Questi materiali, caratteristici per la loro resistenza al calore ed il potere isolante, sono collocati fra la “camicia” metallica esterna di forni, siviere, paniere e lo strato di materiale refrattario interno e, sebbene non soggetti ad usura come lo strato di refrattario, sono oggetto di manutenzione e comunque possono aerodisperdere fibre se interessati da azioni meccaniche durante il rifacimento del refrattario.

Agenti chimici potenzialmente presenti:

PI – PR – SLC – SOV – FAV (*fibre ceramiche refrattarie*)
– IAP – Me – PCDDs – PCDFs – PCBs.

Monitoraggi:

Considerata la complessità dell'impianto nelle sue componenti si ritiene più opportuno riportare in Tabella II, in modo schematico, una possibile strategia di campionamento, chiaramente adattabile alle reali situazioni impiantistiche, sia per quanto riguarda le posizioni fisse che i campionamenti personali degli operatori appartenenti ai GOE individuati.

Tabella II. Acciaieria – Posizioni di campionamento, campionamenti personali, agenti chimici potenzialmente presenti

Attività/impianto campionamenti in Posizioni Fisse	Agenti chimici	Mansioni/GOE campionamenti personali
Area Movimentazione rottami	PI - PR	- addetti cabine controllo - operatori esterni polivalenti - gruista di colata - addetti manutenzione
Cabine controllo impianto e carico forni	PI - PR - SLC - SOV - IAP - Me - PCDDs - PCDFs - PCBs	
Piano carica convertitore/forno	PI - PR - SLC - SOV - IAP - Me	
Piano pesatura/preparazione additivi	PI - PR ed altre sostanze secondo la composizione delle cariche	
Pulpito manovra	PI - PR - SLC - SOV - IAP - Me - PCDDs - PCDFs - PCBs	
Area colata	PI - PR - SLC - SOV - IAP - Me - PCDDs - PCDFs - PCBs	- addetti colata
Area rifacimento siviere e paniere	PI - PR - SLC - FAV (fibre ceramiche refrattarie)	- manutentori rifacimento refrattario

Conclusioni

La complessità dei cicli produttivi nell'industria siderurgica, le diverse tecnologie applicate in termini impiantistici, le composizioni variabili delle materie prime, dei prodotti e degli intermedi di produzione, non hanno purtroppo consentito di trattare esaurientemente tutte le realtà produttive del comparto; tuttavia gli autori ritengono di aver fornito, sulla base della letteratura e della loro specifica esperienza personale di igienisti industriali e medici del lavoro, indicazioni utili per individuare un percorso che, partendo dalla conoscenza dei processi, degli impianti, degli agenti chimici potenzialmente presenti nella specifica realtà produttiva, delle loro caratteristiche tossicologiche e delle mansioni svolte, consenta di giungere alla valutazione del rischio d'esposizione professionale ad agenti chimici pericolosi cancerogeni e mutageni.

È evidente che un percorso di valutazione del rischio che, come sopra evidenziato per il comparto della siderurgia, comporta la potenziale esposizione ad agenti chimici cancerogeni e mutageni, non può prescindere da un programma di monitoraggio dell'esposizione professionale mediante misura degli agenti chimici aerodispersi ed eventualmente assorbibili per via cutanea.

Le misure degli agenti chimici in generale, e di quelli cancerogeni e mutageni in particolare, andranno eseguite secondo strategie di campionamento che corrispondano ai presupposti della rappresentatività spazio temporale dell'esposizione in termini statistici, secondo le più recenti indicazioni della norma EN 689/2018 (9) e con strumentazione idonea a fornire un limite di quantificazione o di rilevabilità del metodo (campionamento ed analisi) il più

basso possibile, per consentire al medico del lavoro di svolgere opportune valutazioni dell'impatto sulla salute degli agenti cancerogeni e mutageni al di là del confronto con gli eventuali Valori Limite di Soglia.

Bibliografia

- 1) Ainun Hamzah Nurula, Bahri Mohd Tamrin Shamsul, et al. Assessment of dust exposure in a steel plant in the eastern coast of peninsular Malaysia. Work 55 (2016) 655–662 DOI:10.3233/WOR-162433 IOS Press
- 2) Soleo L, Lovreglio P, et al. Valutazione del rischio per la salute da esposizione a elementi metallici nei lavoratori del siderurgico e nella popolazione generale di Taranto (Italia). G Ital Med Lav Erg 2012; 34(4): 381-91.
- 3) Fateme Dehghani, Fariborz Omid, Omidreza Heravizadeh, et al. Occupational Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds Emitted from Coke Production Unit of a Steel Plant. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. <http://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/10803548.2018.1443593>
- 4) IARC - Chemical Agents and Related Occupations; Volume 100 F. A Review of Human Carcinogens. Lyon, France, 2012.
- 5) Fostinelli J, Catalani S, et al. Assessment of residual exposure to PCBs in metallurgy. Med Lav 2017; 108(3): 174-186 DOI:10.23749/mdl.v108i3.5907
- 6) Corsini A, Candelpergher C, et al. Valutazione di esposizione e assorbimento di alcuni xenobiotici nella siderurgia elettrica secondaria. Brescia (2004).
- 7) INAIL – Profili di rischio di comparto – Profilo di rischio e soluzioni – Metallurgia (INAIL/Ricerca/Documentazione/Profili di rischio/Metallurgia).
- 8) Nicodemi W, Mapelli C. Siderurgia. AIM, 2011.
- 9) European Committee for Standardization, EN 689/18, Workplace exposure -Measurement of exposure by inhalation to chemical agents - Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values". (2018).

Piero Lovreglio¹, Leonardo Soleo¹, Luciano Greco², Ciro Marangella², Ignazio Drago¹, Giuseppe De Palma³, Pietro Apostoli³

Monitoraggio dell'esposizione ad elementi metallici nello stabilimento siderurgico di Taranto

¹ Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro, Università di Bari, Bari

² ILVA in Amministrazione Straordinaria, Taranto

³ Dipartimento di Specialità Medico Chirurgiche, Scienze Radiologiche e Sanità Pubblica, Università di Brescia, Brescia

RIASSUNTO. *Obiettivo.* Studiare, mediante monitoraggio biologico, la potenziale esposizione ad elementi metallici dei lavoratori che operano nello stabilimento siderurgico a ciclo integrale di Taranto.

Metodi. Sono stati esaminati 755 lavoratori di differenti aree di lavoro dell'impianto siderurgico, con potenziale esposizione occupazionale ad elementi metallici (Esposti), e 101 lavoratori dell'area Imbarco prodotti finiti dello stesso stabilimento, non esposti ad elementi metallici (Non esposti). Dopo la somministrazione di un questionario su attività lavorativa svolta, sede di domicilio ed abitudini voluttuarie, tutti i lavoratori hanno raccolto un campione di urine per la determinazione di Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb mediante spettrometria di massa accoppiata al plasma (ICP-MS), del Ni mediante spettrometria in assorbimento atomico (AAS), e della creatinina urinaria. Tutti i lavoratori, inoltre, sono stati sottoposti ad un prelievo di sangue venoso per la determinazione del Pb mediante AAS. È stato anche possibile disporre dei risultati dei campionamenti ambientali di Cr, Mn, Co, Cu, Cd, Hg, Pb e Ni eseguiti da ditte specializzate nello stesso periodo del biomonitoraggio in alcune delle aree di lavoro dove operano i lavoratori potenzialmente esposti.

Risultati. Nessuno degli elementi metallici determinati ha mostrato un superamento dello specifico BEI ACGIH, mentre solo Co e Zn urinari hanno evidenziato, solo nei non esposti, un superamento dei valori di riferimento del laboratorio che ha effettuato le analisi in più del 5% delle determinazioni (5.9%). Il confronto con i valori di riferimento della Società Italiana Valori di Riferimento (SIVR) ha mostrato un superamento in più del 5% delle determinazioni per il Cu urinario, sia nei lavoratori potenzialmente esposti (19.2%) che nei non esposti (19.8%), e per il Cd urinario, solo nei potenzialmente esposti (6%). Il confronto tra lavoratori potenzialmente esposti e non esposti ha mostrato concentrazioni più alte nei primi solo per il Mn urinario ($p < 0.05$). I risultati dei campionamenti ambientali hanno mostrato valori pressoché sempre inferiori al TLV-TWA ACGIH, con la maggior parte delle determinazioni inferiori ai rispettivi limiti di rilevabilità per tutti gli elementi metallici, con l'eccezione del Mn.

Conclusioni. Lo studio di biomonitoraggio non ha mostrato nei lavoratori potenzialmente esposti una presenza di elementi metallici più elevata rispetto a quella che si può osservare nei non esposti, con l'eccezione del Mn urinario che mostrava valori comunque compresi nei valori di riferimento SIVR e del laboratorio che ha eseguito le analisi.

Parole chiave: industria siderurgica, monitoraggio biologico, elementi metallici.

1. Introduzione

I lavoratori degli impianti siderurgici, in particolare gli addetti delle cosiddette "aree a caldo", sono potenzialmente esposti ad elementi metallici che possono essere presenti nelle materie prime utilizzate per la produzione della ghisa e dell'acciaio o utilizzati come correttivi per conferire le caratteristiche desiderate alle leghe finali. Precedenti ricerche hanno evidenziato un'esposizione a Mn, Pb, Cd, Ni, Co e Cr nelle acciaierie elettriche di seconda fusione che utilizzano rottami ferrosi come materie prime (1).

Nel complesso limitati sono i dati sull'esposizione ad elementi metallici nelle acciaierie a ciclo integrale, dove sono utilizzati come principali materie prime il minerale di ferro e il carbone (2-5). In particolare, non sono stati da noi reperite pubblicazioni di ricerche mediante biomonitoraggio per la valutazione della dose interna, nonostante da tempo esistano tecniche analitiche multielemento che consentono di valutare in modo affidabile l'esposizione ad elementi metallici.

L'obiettivo della ricerca che viene presentata è stato pertanto quello di studiare, attraverso la misura della dose interna, la potenziale esposizione ad elementi metallici dei lavoratori che operavano in diverse aree dello stabilimento siderurgico a ciclo integrale di Taranto, confrontandoli con un gruppo di lavoratori dello stesso stabilimento non esposti ad elementi metallici, anche al fine di consentire la stima del rischio per la salute dei lavoratori che ne può derivare.

2. Materiali e Metodi

2.1 Soggetti esaminati

Sono stati sottoposti a monitoraggio biologico 856 lavoratori maschi, di cui 755 appartenevano ad aree lavorative dell'impianto siderurgico con una possibile esposizione occupazionale ad elementi metallici (Esposti), quali Parchi minerari, Agglomerato, Altoforno 1 e 4, Acciaieria 2, Servizi acciaierie, Sbarco materie prime e Officine manutenzione centrale, e 101 all'area Imbarco prodotti finiti,

ABSTRACT. BIOMONITORING OF EXPOSURE TO METALLIC ELEMENTS IN THE STEELWORKS PLANT OF TARANTO.

Objective. To assess, by means of biological monitoring, the potential exposure to metallic elements of workers operating in the integrated route steelworks plant in Taranto.

Methods. A total of 755 workers from different working areas of the steelworks plant, with potential occupational exposure to metallic elements (Exposed), and 101 workers from the finished products embarking area of the same plant, not exposed to metallic elements (Not exposed), were examined. After the administration of questionnaire inquiring about working activity, residence location and lifestyle habits, all the workers collected a urine sample for the determination of Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), of Ni by atomic absorption spectrometry (AAS), and of urinary creatinine. Moreover, all the workers underwent venous blood sampling for the determination of Pb by AAS. The results of the environmental monitoring of Cr, Mn, Co, Cu, Cd, Hg, Pb and Ni, carried out by specialized companies in the same period of biomonitoring in some of the working areas where potentially exposed workers operate, were also obtained.

Results. None of the examined metallic elements showed values exceeding the specific ACGIH BEI, while only urinary Co and Zn exceeded the reference values of the laboratory where analyzes were carried out in more than 5% of the determinations (5.9%), only in the not exposed workers. Moreover, more than 5% of the determinations higher than the reference values of the Italian Reference Values Society (SIVR) were observed for urinary Cu, both in potentially exposed (19.2%) and in not exposed workers (19.8%), and for urinary Cd, only in potentially exposed workers (6%). Comparison between potentially exposed and not exposed workers showed higher concentrations in the former only for urinary Mn ($p < 0.05$). Environmental monitoring showed airborne concentrations of metallic elements almost always lower than TLV-TWA ACGIH, with most of the determinations below the respective limits of detection for all the metallic elements, except for Mn.

Conclusions. The study did not show the presence of metallic elements higher in the potentially exposed than in the not exposed workers, except for urinary Mn that, however, was always included both in SIVR and in the laboratory reference values.

Key words: steelworks industry, biomonitoring, metallic elements.

senza potenziale esposizione occupazionale ad elementi metallici (Non esposti) (Tabella I). Il reclutamento dei lavoratori delle diverse aree e/o reparti è stato effettuato in maniera casuale partendo dagli elenchi degli organici e ponendo come criterio di selezione l'anzianità lavorativa nell'area di almeno un anno.

A tutti i lavoratori esaminati è stato somministrato un questionario per raccogliere informazioni su dati anagrafici, domicilio, caratteristiche generali del soggetto, attività lavorativa attuale e pregressa, abitudini di vita e alimentari e storia sanitaria personale. Per studiare la concentrazione dei diversi elementi metallici in funzione della sede del domicilio dei lavoratori, questi sono stati successivamente suddivisi per domicilio in Taranto (Comune di Taranto, inclusi il quartiere Paolo VI e le frazioni Lama, S. Vito e Talsano, ed il Comune di Statte) e Fuori Taranto (Altri Comuni della Provincia di Taranto e Fuori Provincia di Taranto). Tutti i lavoratori hanno fornito il consenso informato scritto a partecipare al monitoraggio biologico, previa informazione sull'obiettivo dello stesso.

2.2 Monitoraggio biologico

Dopo la somministrazione del questionario, tutti i lavoratori hanno raccolto un campione di urine per la determinazione di Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb e Ni e sono stati sottoposti ad un prelievo di sangue venoso con sistema vacutainer utilizzando una provetta contenente come anticoagulante litio eparina per la determinazione del Pb. In ogni campione di urine è stata anche determinata la creatinina urinaria per verificare la diluizione del campione secondo i criteri dell'OMS (6).

Dopo la raccolta, le urine sono state immediatamente congelate a -20°C , trasportate presso la Sezione di Medicina del Lavoro "E.C. Vigliani" del Dipartimento Interdisciplinare di Medicina dell'Università di Bari e trasferite in ghiaccio secco al Laboratorio di Tossicologia Industriale dell'Università di Brescia. Le provette di sangue intero (5 ml) sono state invece mantenute sempre a temperatura di $+4^{\circ}\text{C}$ e così trasmesse al Laboratorio di Tossicologia Industriale dell'Università di Brescia. Il laboratorio è certificato in qualità ISO 9001:2000 n. 9122 SP16, sotto Controllo di Qualità Interno e partecipa al Controllo di Qualità Esterno (VEQ) dell'Institute for Quality Management in Occupational Medicine, Erlanger, Germany.

Le metodologie analitiche utilizzate sono di seguito riportate:

- Elementi metallici nelle urine (analisi multielemento): spettrometria di massa accoppiata al plasma con cella di reazione dinamica (ICP-MS-DRC) (7); Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Hg e Pb sono stati analizzati utilizzando il metodo Total Quant in modalità standard, mentre per il Cr è stato utilizzato il metodo della Cella di Reazione dinamica (DRC) con ammoniaca. Per valutare l'accuratezza del metodo sono stati utilizzati controlli certificati; il limite di rilevazione (LOD) è risultato compreso tra $0.01\text{ }\mu\text{g/L}$ e $0.1\text{ }\mu\text{g/L}$, il coefficiente di variazione (CV) pari al 10-15%.
- Ni urinario: spettrometria in assorbimento atomico Varian Zeeman (SpectraAA400), con effetto Zeeman per la correzione del fondo; la curva di calibrazione è stata ottenuta con aggiunte tra $2.5\text{ }\mu\text{g/L}$ e $10\text{ }\mu\text{g/L}$. Per valutare l'accuratezza del metodo sono stati utilizzati controlli certificati; il LOD è stato $0.1\text{ }\mu\text{g/L}$, il range di linearità $0.1\text{ }\mu\text{g/L}$ - $150\text{ }\mu\text{g/L}$, il CV pari al 8.0%.

Tabella I. Lavoratori potenzialmente esposti e non esposti suddivisi per area di lavoro

AREA DI LAVORO	N.
LAVORATORI POTENZIALMENTE ESPOSTI	
– PARCHI MINERARI	121
– AGGLOMERATO	103
– ALTOFORNO 1 e 4	135
– ACCIAIERIA 2	131
– SERVIZI ACCIAIERIE	127
– SBARCO MATERIE PRIME	84
– OFFICINE MANUTENZIONE CENTRALE	54
– TOTALE	755
LAVORATORI NON ESPOSTI	
– IMBARCO PRODOTTI FINITI	101

- Pb ematico: spettrofotometria in assorbimento atomico (Spectra AADuo), il LOD è stato di 0.4 µg/dL e il CV pari al 4%; i valori sono stati espressi in µg/dL.
- Creatinina urinaria: metodo colorimetrico utilizzando la strumentazione ILab 350 (8); in ogni serie analitica erano presenti due controlli a livelli di concentrazione diversi; il limite di quantificazione (LOQ) è stato di 0.1 g/L, il range di misura 0.1-4 g/L.

2.3 Monitoraggio ambientale

È stato possibile disporre dei risultati dei campionamenti ambientali personali eseguiti da ditte specializzate su alcuni lavoratori operanti in alcune aree dello stabilimento nello stesso periodo in cui è stato effettuato il biomonitoraggio. Questi campionamenti hanno interessato le aree Agglomerato, Altoforno e Officine manutenzione centrale e prevedevano la determinazione, tra gli altri, di Cr, Mn, Co, Cu, Cd, Hg, Pb e Ni. I campionamenti delle frazioni inalabile e respirabile sono stati effettuati utilizzando campionatori personali a flusso costante di 2 L/min per le polveri inalabili e 2.2 ml/min per le respirabili, in accordo con i metodi Unichim 1998:2013 e Unichim 2010:2011 (9,10). Il materiale aerodisperso è stato raccolto per filtrazione su membrane di nitrato di cellulosa (diametro di 25 mm e porosità 0.8 µm), utilizzando il selettore IOM (Institute of Occupational Medicine) per le polveri inalabili, e un selettore dimensionale del tipo a ciclone (Higgins-Dewell) per le polveri respirabili. L'analisi degli elementi metallici è stata effettuata con spettrometro di massa accoppiato al plasma (ICP-MS) secondo quanto indicato dal metodo EPA 6020B-2014 (11). Il valore è stato espresso in µg/m³.

2.4 Analisi statistica

L'analisi statistica è stata effettuata utilizzando il programma SPSS (versione 14.0, Chicago, IL, USA). Il confronto tra medie è stato effettuato con test non parametrici

per variabili indipendenti. L'analisi della correlazione è stata effettuata utilizzando il test non parametrico di Spearman. Il livello di significatività è stato individuato per una p inferiore a 0.05.

Dall'analisi statistica non sono stati esclusi i valori degli elementi metallici che provenivano da urine di lavoratori che avevano presentato concentrazioni di creatinina al di fuori del range dell'OMS 0.3-3.0 g/L (39 lavoratori per gli esposti e 7 per i non esposti), al fine di garantire la rappresentatività dell'intero gruppo di lavoratori esaminati e dopo aver verificato che i risultati non mostravano sostanziali differenze dopo aver escluso i valori degli indicatori rilevati in queste urine.

3. Risultati

I lavoratori potenzialmente esposti ad elementi metallici nelle diverse aree di lavoro non differivano per le caratteristiche generali da quelli dell'area di lavoro Imbarco prodotti finiti, considerati non esposti, se non per l'età anagrafica inferiore in questi ultimi (p<0.001) (Tabella II).

Nella Tabella III sono riportate le concentrazioni degli elementi metallici determinati nelle urine e nel sangue dei lavoratori esaminati suddivisi tra potenzialmente esposti e non esposti. Nelle matrici biologiche è stato possibile determinare sempre tutti gli elementi metallici studiati, ad eccezione del Cr urinario che è risultato inferiore al LOD nel 63.7% dei lavoratori potenzialmente esposti e nel 67.3% dei non esposti. Nella Tabella III è anche possibile rilevare che per nessuno degli elementi metallici è stato osservato un superamento dello specifico BEI ACGIH (12). Il confronto con i valori di riferimento del laboratorio che ha effettuato le determinazioni, inoltre, non ha evidenziato un superamento dei suddetti valori in più del 5% delle determinazioni per nessuno degli elementi metallici, se si escludono Co e Zn urinari che hanno mostrato

Tabella II. Caratteristiche generali dei lavoratori esaminati suddivisi in esposti e non esposti

	ESPOSTI				NON ESPOSTI			
	N. %	Media±DS	Mediana	Range	N. %	Media±DS	Mediana	Range
Età (anni) ^c	755	42.4±5.7	41.2	30.2-64.7	101	39.7±4.4	39.0	31.6-54.5
BMI (Kg/m ²)	755	27.2±3.9	26.5	19.0-48.4	101	26.7±3.5	26.4	16.7-38.6
Anzianità lavorativa (anni)	755	15.6±2.8	15.8	3.8-29.0	101	15.2±2.0	15.0	7.0-20.0
Abitudine al fumo di sigaretta								
– Fumatori	33.2%				35.0%			
– Non fumatori	38.1%				39.0%			
– Ex fumatori	28.7%				26.0%			
Numero di sigarette/die (nei fumatori)	250	14.3±6.8	15.0	1-40	35	15.2±8.1	15.0	3-40
Pacchetti/anno (in fumatori+ex-fumatori)	466	14.4±11.0	13.0	0.2-90	61	12.3±8.5	11.0	1-50
Consumo di alcol								
– Astemi	21.4%				26.0%			
– Bevitori occasionali	53.5%				55.0%			
– Bevitori abituali	25.1%				19.0%			
Domicilio								
– Taranto	36.0%				44.0%			
– Fuori Taranto	64.0%				56.0%			

^ap<0.05; ^bp<0.01; ^cp<0.001

Tabella III. Confronto dei risultati degli elementi metallici determinati nelle matrici biologiche di 755 lavoratori potenzialmente esposti ad essi e 101 non esposti dello stabilimento siderurgico di Taranto con i BEI ACGIH ed i valori di riferimento SIVR 2017 e del laboratorio di Brescia

Elementi metallici		Mediana	95° percentile	Range	N. casi <LOD	N. casi >VRB	N. casi >95° SIVR	BEI ACGIH 2018	VRB 5°-95° percentile	Valori di riferimento SIVR 2017 5°-95° percentile
Cromo urinario (µg/L)	Esposti	<0.05	0.36	<0.05-1.60	474	3	5	25	0.05 – 0.70	0.05 – 0.60
	Non esposti	<0.05	0.34	<0.05-3.90	68	1	1			
Manganese urinario (µg/L) ^a	Esposti	0.23	0.75	0.10-1.60	0	0	2	–	0.1 – 5.0	0.04 – 1.50
	Non esposti	0.15	0.59	0.10-1.60	0	0	1			
Cobalto urinario (µg/L)	Esposti	0.51	1.40	0.05-5.10	0	31	8	15	0.1 – 1.5	0.08 – 2.2
	Non esposti	0.50	1.79	0.05-5.10	0	6	3			
Rame urinario (µg/L) ^a	Esposti	16.3	31.0	0.8-88.6	0	13	143	–	5.8 – 36	5.01 – 24
	Non esposti	17.8	30.9	2.8-46.1	0	2	20			
Zinco urinario (µg/L) ^a	Esposti	283.5	867.9	5-4197	0	35	14	–	200 – 900	ND – 1048
	Non esposti	309.0	928.3	34-1234	0	6	3			
Cadmio urinario (µg/L)	Esposti	0.28	1.00	0.05-5.00	0	4	45	5.0*	0.1 – 1.5	0.1 – 0.9
	Non esposti	0.27	0.67	0.05-0.80	0	0	0			
Mercurio urinario (µg/L) ^a	Esposti	0.38	1.60	0.10-5.00	0	0	0	20*	0.1 – 5.0	0.1 – 5.0
	Non esposti	0.46	1.88	0.10-4.10	0	0	0			
Piombo urinario (µg/L)	Esposti	0.57	1.80	0.05-6.60	0	0	9	–	0.4 – 7.0	0.17 – 2.64
	Non esposti	0.58	1.86	0.10-8.60	0	1	1			
Nichel urinario (µg/L) ^c	Esposti	0.8	2.9	0.1-14.5	0	15	10	–	0.1 – 4.0	0.37 – 4.44
	Non esposti	1.5	3.5	0.1-9.3	0	1	1			
Piombo ematico (µg/dL) ^c	Esposti	1.2	3.5	0.4-8.5	0	5	11	20	0.5 – 6.3	0.74 – 5.17
	Non esposti	1.7	4.4	1.0-7.9	0	1	1			

^ap<0.05; ^bp<0.01; ^cp<0.001 * Espresso come µg/g creatinina
VRB = Valori di riferimento laboratorio Brescia

entrambi, solo nei non esposti, un numero di determinazioni superiori ai valori di riferimento nel 5.9% dei casi. Il confronto con i valori di riferimento della Società Italiana Valori di Riferimento (SIVR), invece, ha mostrato un superamento in più del 5% delle determinazioni per il Cu urinario, sia nei lavoratori potenzialmente esposti (19.2%) che nei non esposti (19.8%), e per il Cd urinario, solo nei potenzialmente esposti (6%) (13).

Il confronto statistico tra lavoratori potenzialmente esposti e non esposti ha mostrato concentrazioni più alte nei primi solo per il Mn urinario (p<0.05), mentre per Cu, Zn, Hg, Ni urinari e Pb ematico sono risultate concentrazioni più alte nei non esposti rispetto ai potenzialmente esposti. Il confronto per singolo elemento metallico e per singola area di lavoro, inoltre, ha mostrato concentrazioni significativamente più basse nel gruppo controllo interno solo per il Cr rispetto ai lavoratori dell'area Officine manutenzione centrale (p<0.001), per il Mn rispetto a quelli delle aree Parchi minerari (p<0.01) e Officine manutenzione centrale (p<0.001), e per il Pb urinario rispetto a quelli dell'area Officine manutenzione centrale (p<0.05).

Lo studio della concentrazione dei diversi elementi metallici in funzione della sede del domicilio dei lavoratori, ha evidenziato che per Cr, Co, Cu e Zn, i domiciliati in Taranto non presentano alcuna differenza significativa rispetto a quelli domiciliati Fuori Taranto, i lavoratori domiciliati Fuori Taranto, invece, presentano concentrazioni

significativamente più elevate rispetto a quelli domiciliati in Taranto per Mn e Hg urinari (p<0.01) e per il Pb ematico (p<0.01), mentre per il Cd i lavoratori domiciliati in Taranto presentano concentrazioni dell'elemento metallico significativamente più elevate rispetto a quelli domiciliati Fuori Taranto (p<0.05).

È stata eseguita su tutti i lavoratori considerati come unico gruppo l'analisi di correlazione tra concentrazioni dei singoli elementi metallici ed età anagrafica, BMI, anzianità lavorativa in stabilimento e nell'area di appartenenza, numero di sigarette/die nei fumatori, pacchetti/anno nei fumatori+ex fumatori, numero unità alcoliche nei bevitori abituali+occasionali. È risultata una correlazione significativa e positiva tra età e, rispettivamente, Cd, Pb urinario e Pb ematico, tra BMI e, rispettivamente, Co, Cu e Zn, tra anzianità lavorativa in stabilimento e Cu, Hg e Ni, tra numero di sigarette/die nei fumatori e Co, Zn e Cd, tra numero pacchetti/anno e Co, Cd e Pb urinario e tra numero unità alcoliche/settimana e Zn, Pb urinario, e Pb ematico, e significativa e negativa tra anzianità lavorativa nell'area di lavoro e Pb ematico e tra numero pacchetti/anno e Hg.

I risultati dei campionamenti ambientali eseguiti nelle aree Agglomerato ed Altoforno hanno mostrato, pressoché per tutti gli elementi metallici, concentrazioni inferiori al LOQ in più della metà delle determinazioni, con l'esclusione del Mn e, solo per l'Agglomerato, anche del Cu (Tabella IV). I risultati dei campionamenti effettuati

Tabella IV. Risultati dei campionamenti ambientali effettuati nelle aree Agglomerato, Altoforno e Officine manutenzione centrale

Elementi metallici ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tipo polveri	AGGLOMERATO			ALTOFORNO			OFFICINE MANUTENZIONE CENTRALE			TLV-TWA ACGIH 2018
		$N_{<LOD}/N$	Mediana	Range	$N_{<LOD}/N$	Mediana	Range	$N_{<LOD}/N$	Mediana	Range	
Cromo	Inalabile	53/73	-	<0.08-0.33	44/60	-	<0.8-0.25	0/25	0.86	0.12-10.5	500
Manganese	Inalabile	0/74	0.86	0.11-37.7	0/60	0.22	0.04-1.12	0/25	1.40	0.21-142.00	100
	Respirabile	0/71	0.47	<0.70-85.0	0/60	0.08	<0.70-2.35	0/26	0.98	0.10-70.00	20
Cobalto	Inalabile	70/71	-	<0.04-0.07	60/60	-	<0.04	22/25	-	<0.04-0.13	20
Rame	Inalabile	35/74	0.09	<0.08-3.24	46/60	-	<0.8-0.62	0/25	1.2	0.13-56.0	200
Cadmio	Inalabile	73/73	-	<0.07	60/60	-	<0.08	23/25	-	<0.07-0.56	10
Mercurio	Inalabile	71/71	-	<0.01	60/60	-	<0.02	21/25	-	<0.02-0.08	25
Piombo	Inalabile	44/74	-	<0.08-22.1	52/60	-	<0.08-0.99	11/25	0.13	<0.08-2.16	50
Nichel	Inalabile	59/73	-	<0.07-0.21	54/60	-	<0.08-0.41	0/25	0.34	0.09-121.00	1500

presso l'area Officine manutenzione centrale, invece, hanno mostrato concentrazioni pressoché sempre inferiori al LOQ per Co, Cd e Hg, mentre per Cr, Mn, Cu, Pb e Ni sono stati osservati valori mediani sempre almeno due ordini di grandezza inferiori al TLV-TWA proposto dall'ACGIH.

4. Discussione

Il biomonitoraggio di elementi metallici, eseguito attraverso la determinazione di Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, e Ni nelle urine e di Pb nel sangue dei lavoratori dello stabilimento siderurgico a ciclo integrale di Taranto, non ha mostrato, in generale, una loro concentrazione più elevata rispetto a quella che si può rilevare nel gruppo di controllo interno, con l'eccezione del Mn urinario.

Per Cr, Co, Cd, Hg urinari e Pb ematico, il confronto con il rispettivo BEI del limite superiore del range dei valori osservati di questi elementi metallici, ha mostrato una concentrazione che è pressoché sempre di 1-2 ordini di grandezza inferiore a quest'ultimo (12). Per il Cd, inoltre, le concentrazioni sono risultate sempre inferiori anche al valore limite biologico proposto dallo SCOEL di 2 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina, più protettivo rispetto al BEI dell'ACGIH (14).

Il confronto con i valori di riferimento del laboratorio che ha effettuato le determinazioni e della SIVR ha mostrato un superamento del 5% del numero di lavoratori con valori oltre il 95° percentile di riferimento principalmente per il Cu, elemento metallico essenziale, sia nei potenzialmente esposti che nei non esposti. Questo risultato può essere spiegato con la larga variabilità del Cu urinario nella popolazione generale, che giustifica anche la differenza tra i valori di riferimento del laboratorio di Brescia e quelli proposti dalla SIVR. Il Cu urinario, inoltre, non è un indicatore biologico raccomandato dagli organismi nazionali e internazionali in quanto mancano dati sulla relazione tra i livelli di esposizione occupazionale e la sua eliminazione urinaria. Per il Cd, invece, è da considerare che solo nel 6.0% è stato osservato un superamento dei valori SIVR, che peraltro si riferiscono ad una popolazione di non fumatori o ex-fumatori da almeno 5 anni.

I risultati osservati, confrontati con quelli riportati in una indagine di biomonitoraggio di elementi metallici nelle urine di 49 lavoratori dell'ILVA di Taranto eseguita nel 2005 (15), hanno evidenziato nel 2017 concentrazioni simili o leggermente più basse rispetto a quelle rilevate in precedenza, tenendo conto che lo studio attuale ha compreso 856 lavoratori, che sono molto più rappresentativi della popolazione lavorativa dello stabilimento rispetto a quanto descritto nel precedente studio.

Il confronto per singolo elemento metallico e per singola area di lavoro tra i lavoratori potenzialmente esposti ad elementi metallici e quelli non esposti del gruppo controllo dell'area di lavoro Imbarco prodotti finiti, ha mostrato concentrazioni significativamente più alte rispetto al gruppo controllo soltanto in un numero molto limitato di confronti. Se poi si considera che tre di questi superamenti sono superiori per i lavoratori delle Officine manutenzione centrale, ne consegue che si può ritenere che i lavoratori delle aree di lavoro studiate generalmente non hanno presentato nelle matrici biologiche un incremento di alcun elemento metallico rispetto a quelli dell'area Imbarco prodotti finiti, con la parziale eccezione dei lavoratori delle Officine manutenzione centrale, in accordo peraltro anche con i risultati dei campionamenti ambientali effettuati nel periodo dello studio. Infatti, nonostante non fosse possibile studiare a livello individuale la relazione tra i risultati dei campionamenti ambientali e biologici in quanto effettuati in giornate lavorative differenti, entrambi i campionamenti suggeriscono una possibile maggiore esposizione di elementi metallici, seppur modesta, per i lavoratori delle Officine manutenzione centrale.

La relazione tra concentrazioni di elementi metallici e sede del domicilio dei lavoratori esaminati non ha mostrato una univoca più elevata loro presenza nei lavoratori con domicilio a Taranto rispetto a quelli con domicilio fuori Taranto e le differenze osservate sono da interpretare nell'ambito della normale variabilità che si osserva tra gruppi di popolazione generale. Le relazioni significative osservate tra Cd ed età e, soprattutto, abitudine tabagica, invece, sono ben note in letteratura. Il fumo di sigarette, infatti, è considerata la principale fonte di esposizione a Cd nei fumatori ed è stato stimato che essi sono esposti a

1.7 µg di Cd per ogni sigaretta fumata (16). Anche le associazioni tra Pb ed età, abitudine tabagica e consumo di alcol confermano i dati di letteratura, in particolare per quanto riguarda il consumo di vino.

In conclusione, lo studio di biomonitoraggio di elementi metallici eseguito sui lavoratori dell'impianto siderurgico a ciclo integrale di Taranto fornisce, per numero di lavoratori esaminati, un contributo importante alla conoscenza sulla possibile esposizione occupazionale ad elementi metallici nella produzione dell'acciaio. Esso, in generale non ha mostrato nei lavoratori potenzialmente esposti una presenza più elevata di elementi metallici rispetto a quella che si può osservare nei non esposti, se si esclude quanto descritto per il Mn urinario. La sede del domicilio non è sembrata influenzare in modo univoco la presenza nelle urine e nel sangue di alcun elemento metallico. I risultati ottenuti dal biomonitoraggio di elementi metallici nelle urine e nel sangue dei lavoratori delle aree di lavoro considerate, pertanto, consentono in generale di escludere un rischio per la salute correlabile con un'esposizione occupazionale agli elementi metallici misurati.

Ringraziamenti

Si ringraziano la Direzione sanitaria dello stabilimento di Taranto dell'Ilva SpA in amministrazione straordinaria per la collaborazione prestata durante lo svolgimento del biomonitoraggio e tutti i lavoratori per la loro disponibilità a partecipare.

Bibliografia

- De Palma G, Corsini A, Gilberti E, et al. Monitoraggio biologico dell'esposizione ad elementi cancerogeni e ad idrocarburi policiclici aromatici in quattro settori metallurgici secondari. *G Ital Med Lav Ergon* 2012; 34 (3 Suppl): 44-7.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for Manganese. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, Public Health Service: ATSDR, 2012.
- Hamzah NA, Mohd Tamrin SB, Ismail NH. Metal dust exposure and lung function deterioration among steel workers: an exposure-response relationship. *Int J Occup Environ Health* 2016; 22: 224-32.
- Hughson GW, Galea KS, Heim KE. Characterization and assessment of dermal and inhalable nickel exposures in nickel production and primary user industries. *Ann Occup Hyg* 2010; 54: 8-22.
- Wronska-Nofer T, Pisarska A, Trzcinka-Ochocka M, et al. Scintigraphic assessment of renal function in steel plant workers occupationally exposed to lead. *J Occup Health* 2015; 57: 91-9.
- World Health Organization. Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace, vol. 1. Geneva, Switzerland: WHO, 1996.
- Apostoli P. Elements in environmental and occupational medicine. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci* 2002; 778: 63-97.
- Benedict SR, Behre JA. Some application of a new color reaction for creatinine. *Journal of Biological Chemistry* 1936; 114: 515-32.
- UNICHIM. Metodo 1998:2013. Ambienti di lavoro - Determinazione della frazione inalabile delle particelle aerodisperse - Metodo gravimetrico. UNICHIM, 2013
- UNICHIM. Metodo 2010:2011. Ambienti di lavoro - Determinazione della frazione respirabile delle particelle aerodisperse - Metodo gravimetrico. UNICHIM, 2011
- EPA. Method 6020B. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Environmental Protection Agency, 2014.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs for chemical substances and physical agents. Cincinnati, OH, US: ACGIH, 2018.
- Italian Society of Reference Values. 4^a lista dei valori di riferimento per elementi, composti organici e loro metaboliti. Edizione 2017. SIVR, 2017.
- Scientific Committee on Occupational Exposure Limits. SCOEL/OPIN/136 for cadmium and inorganic compounds. SCOEL 08 February 2017.
- Soleo L, Lovreglio P, Panuzzo L, et al. Valutazione del rischio per la salute da esposizione a elementi metallici nei lavoratori del siderurgico e nella popolazione generale di Taranto (Italia). *G Ital Med Lav Erg* 2012; 34: 381-91.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for Cadmium. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, Public Health Service: ATSDR, 2012.

Corrispondenza: Piero Lovreglio, Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro "E.C. Vigliani", Università di Bari Aldo Moro. Policlinico, Piazza Giulio Cesare 11, 70124 Bari, Italy, Tel. ++390805478218, E-mail: piero.lovreglio@uniba.it

Domenico Maria Cavallo¹, Andrea Spinazzè¹, Andrea Cattaneo¹, Jacopo Fostinelli², Pietro Apostoli²,
Piero Lovreglio³, Leonardo Soleo³

Environmental impact of steel production process

¹ Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Como

² Dipartimento di Specialità Medico Chirurgiche, Scienze Radiologiche e Sanità pubblica, Università degli Studi di Brescia

³ Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro "E.C. Vigliani" Università degli Studi di Bari

ABSTRACT. *The steel production sector is striving for technical innovations, to reduce the environmental impacts to acceptable levels. The aim of this study is to analyze the steel production processes to give a picture of the main environmental impacts and possible solutions. Atmospheric emissions of different pollutants (CO₂, SO₂, NO₂, PM, EM, PCDDs, PCDFs, PCBs, PAHs) are among the major determinants of potential environmental and health impacts, and were primarily considered in this discussion. The contributions of various sources differ from one steelwork to another. Investment in abatement technologies should have a positive and effective impact, to tackle process direct emissions associated with coking, sintering, steel making. Area and diffusive sources can be efficiently abated by means of good housekeeping techniques. The detailed analysis of impacts potentially occurring from steel production facilities needs site-specific studies based on a combination of approaches (air dispersion modelling, ambient air sampling campaigns, pollutants mapping and source apportionment).*

Key words: *environmental impact assessment, environmental protection, iron and steel industry.*

RIASSUNTO. **IMPATTO AMBIENTALE NELLA PRODUZIONE DEGLI ACCIAI.** Il settore della produzione di acciaio è costantemente impegnato nella ricerca di soluzioni tecniche per ridurre gli impatti ambientali a livelli accettabili. Lo scopo di questo studio è fornire un quadro dei principali impatti ambientali e delle possibili soluzioni. Le emissioni atmosferiche di diversi inquinanti (CO₂, SO₂, NO₂, PM, EM, PCDD, PCDF, PCB, IPA) sono tra i principali fattori determinanti dei potenziali impatti sull'ambiente e sulla salute, e sono state considerate in maniera prioritaria in questa trattazione. I contributi delle diverse fonti di emissione differiscono da un caso all'altro in maniera non trascurabile. Gli investimenti nelle tecnologie di abbattimento dovrebbero avere un impatto positivo e efficace nella riduzione le emissioni convogliate associate ai processi di cokeria, sinterizzazione, e produzione e lavorazione dell'acciaio. Le fonti diffusive possono essere invece efficacemente abbattute mediante buone pratiche di gestione. L'analisi dettagliata degli impatti potenzialmente provocati dagli impianti di produzione dell'acciaio richiede studi specifici per sito basati su una combinazione di approcci sperimentali (modellizzazione della dispersione aerea, campagne di campionamento dell'aria ambiente, mappatura degli inquinanti e ripartizione delle fonti).

Parole chiave: *valutazione impatto ambientale, protezione dell'ambiente, industria siderurgica.*

Introduction

The steel industry is the second biggest industrial sector in the world, with a production of crude steel that has more than doubled, over the last 30 years (1). Steel production is generally subdivided into two main production routes: integrated (from iron ore) and electric (from scrap) steelmaking (2). Anyhow, the steel industry mainly includes coking, sintering, pelletizing, ironmaking, steelmaking, casting and finishing processes (3). Thus, the steel industry is a typical industrial network, in which an intricate exchange of materials, energy, water and byproducts exists. Further, the steel production sector could be considered responsible for environmental burdens and risks (1,4), mainly due to the emissions directly (during mining and processing) or indirectly (consumption of raw materials and utilities, e.g. in the generation of electric power) associated to the production processes. Furthermore, the general population can be indirectly exposed through soil pollution (consequent to the deposition of emissions into the atmosphere) and ground water (if contaminated by discharges from the processing processes) (5,6).

Despite the continuous technological innovations, which made the steel production processes increasingly efficient and less polluting (5), continuous improvement is still required, to reduce emissions and their consequent impacts (2). Therefore, the steel sector is currently striving for technical and management innovations, to reduce the environmental impacts to acceptable levels. The aim of this study is to analyze the steel production processes to give a picture of the main environmental impacts and possible solutions.

Environmental impact assessment

Several environmental assessment tools and methodologies have been developed (e.g., Life Cycle Assessment, Environmental Impact Assessment, Ecological Risk Assessment, etc.). Among these, life cycle assessment was widely used to assess the environmental impacts of various metal production processes (2,4,7,8). Norgate et al. (2), outlined that steel and lead industries had the lowest

“cradle-to-gate” (i.e., the process chain from natural resources to finished products) environmental impacts in terms of gross energy requirement, global warming potential and acidification potential, if compared to light metals (i.e., titanium and aluminium) industry, while nickel and copper had the greatest environmental impact in terms of solid waste burden.

It should be noted, however, that there are many factors or parameters associated with a metal production process that influence the environmental impacts of the process (i.e., ore grade, electricity energy source, fuel types, and material transport as well as process technology). More in particular, the issues that should be used to evaluate the environmental impact should include at least: (i) Global warming - caused by greenhouse gases emitted in atmosphere; (ii) Ozone depletion - caused the emission of ozone-depleting substances in the atmosphere; (iii) Human cancer effect - carcinogenic effect on human health due to the emission of pollutants; (iv) Human toxicity (non-cancer effects); (v) Photochemical ozone formation; (vi) Acidification; (vii) Terrestrial eutrophication; (viii) Freshwater and Marine eutrophication; (ix) Freshwater eco-toxicity; (x) Land use; (xi) Water resource depletion; (xii) Mineral fossil and renewable depletion (8, 9). Among these issues, atmospheric emissions of different pollutants must be acknowledged among the major determinants of potential environmental and health impacts, and will be primarily considered in this discussion. In fact, many of the environmental (and health) impacts are related to the toxicity of the emissions associated with the steel production, as well as the processes energy consumption (8).

Overall, when considering the entire steel production process, other than the massive production of coke oven gas, tar and of ammonium sulphate, the most significant emissions are CO₂, SO₂, NO₂, particulate matter (PM) and the metallic elements (EM) associated with it. The production process is also responsible for the emission of dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), Polychlorinated Biphenyl (PCBs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (8). It is necessary to note that in addition to the conveyed emissions deriving from the production process in the strict sense, several area sources (e.g., material storage from stockpiles, handling, conveyor belts and resuspension of dust from roads) must be considered in terms of a potential environmental impact. The emissions - as well as the resulting impacts - also change significantly through the different phases of the production process, as also highlighted in previous studies (2, 4, 8). For example, when considering human toxicity aspects, available evidences indicate that the coke oven phase is responsible for the main potential toxicity related impacts.

It should be noted, however, that most of the available data comes from life cycle assessment studies, whose results represent a preliminary evidence to understand the potential impact of such kind of production processes. Then, most of the existing studies concerning the evaluation of the impacts steel production processes could be afflicted by some limitations. This issue poses

specific challenges, due to the great variability of emitted pollutants, environmental and/or human exposure patterns and the potential associated impacts. Reflecting the current state-of-the-art, it is possible to conclude that despite some recent efforts, methodological gaps persist in currently used impact assessment techniques. Since each of these approaches is based on different data and has strengths and limitations, it is advisable to use combined approaches to reinforce the reliability of the environmental impact assessment. For example, to determine the environmental impact of steel-making operations on the ambient air quality, a combination of approaches was recently recommended (9): this includes air dispersion modelling, ambient air sampling campaigns, pollutants mapping (based on biomonitoring and on environmental measurements), and source apportionment (by means of statistical tools). In particular, by means of the data obtained from air sampling campaigns, the exposure assessment must be compared with the background of the surrounding air and the urban environment. When assessing ambient air composition, it is indeed great importance to be able to highlight any differences among pollutants, which may be the same as urban pollution, as they could be peculiar to the production activity and therefore could be considered as tracer pollutants (10).

Several metal production technologies are currently being enhanced, which are expected to reduce the environmental impacts metallurgical industrial settings (2). Further, efforts are made to provide improved understanding of steelworks' emissions and their impacts on the ambient air quality. An example is the “Assessment of emissions and impact of steel production processes” (AMESIS) project (9), in which novel methods and strategies to assess the impact on ambient air quality of various sources associated with steelmaking, where defined, also aiming to define priorities for improved pollution control. In the framework of this project, novel methods and strategies to characterize airborne emissions were developed, implemented and successfully applied in situ. Further, an inventory of particulate emissions originating from fugitive sources has been built, to be used as a database for further studies within the steel industry. The ambient air quality in the surroundings of selected integrated steelworks has been assessed. Dispersion maps of the pollutants were produced using a combination of complementary approaches, that showed that the environmental impact of steelmaking operations was localised in the close vicinity of the site. Dispersion modelling demonstrated that fugitive sources of PM₁₀ were much more significant than primary sources with respect to conveyed emissions (thus suggesting that if European Best Available Technologies Reference Document are applied, the impact of direct emissions could be efficiently managed). Statistical tools were also applied to PM₁₀ in ambient air and these identified the main contributors to be a mixture of steelworks' and non-steelworks' related sources. Overall, an integrated experimental approach was recommended for the environmental impact assessment.

Conclusions

Atmospheric emissions of different pollutants (CO₂, SO₂, NO₂, PM, EM, PCDDs, PCDFs, PCBs, PAHs) are among the major determinants of potential environmental and health impacts. Nevertheless, the contributions of various sources differ from one steelwork to another, taking also into consideration the environmental background where the industrial settings are located, in terms of areas already critical for environmental air pollution. Investment in abatement technologies (which should rely on the application of best available technologies) should have a positive impact (but in many cases, it would come at an expensive price), to tackle process emissions associated with coking, sintering, steel and iron making. Area and diffusive sources can be efficiently abated by means of relatively low-cost management techniques (i.e., good housekeeping, maintenance, washing and wetting of surfaces). Regarding the priorities to reduce the environmental impact of steelworks, since fugitive sources could have a much bigger impact than primary sources, effort must be concentrated on the former. Further, the detailed analysis of impacts potentially occurring from steel production facilities needs site-specific studies concerning the impact to human health associated with the steel production activities. In terms of environmental impact assessment, it appears that methods and strategies defined in the framework of the AMESIS project can easily be replicated to help better understand and control emissions from steelworks (9).

References

- 1) Li L, Lei Y, Pan D. Study of CO₂ emissions in China's iron and steel industry based on economic input-output life cycle assessment. *Nat Hazards* 2016; 81: 957-70.
- 2) Norgate TE, Jahanshahi S, Rankin WJ. Assessing the environmental impact of metal production processes. *J Clean Prod* 2007; 15: 838-48.
- 3) Yu B, Li X, Shi L, Qian Y. Quantifying CO₂ emission reduction from industrial symbiosis in integrated steel mills in China. *J Clean Prod* 2015; 103: 801-10.
- 4) Wu J, Pu G, Ma Q, Qi H, Wang R. Quantitative environmental risk assessment for the iron and steel industrial symbiosis network. *J Clean Prod* 2017; 157: 106117.
- 5) EC-JRC-IPTS. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. Seville: European Commission, European IPPC Bureau, 2012. Available at: http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf
- 6) Soleo L, Lovreglio P, Panuzzo L, D'Errico MN, Basso A, Gilberti ME, Drago I, Tomasi C, Apostoli P. Valutazione del rischio per la salute da esposizione a elementi metallici nei lavoratori del siderurgico e nella popolazione generale di Taranto (Italia). *G Ital Med Lav Erg* 2012; 34(4): 381-91.
- 7) Olmez GM, Dilek FB, Karanfil T, Yetis U. The environmental impacts of iron and steel industry: a life cycle assessment study. *J Clean Prod* 2016; 130: 195-201.
- 8) Renzulli PA, Notarnicola B, Tassielli G, Arcese G, Di Capua R. Life Cycle Assessment of Steel Produced in an Italian Integrated Steel Mill. *Sustainability* 2016; 8: 719.
- 9) Directorate-General for Research and Innovation (European Commission) - Assessment of emissions and impact of steel production processes (ASEMIS). 2013.
- 10) Catalani S, Ghitti R, Fostinelli J, De Palma G, Apostoli P. Determinazione degli elementi metallici all'esterno di impianti metallurgici, un contributo alla valutazione dei rischi negli ambienti di lavoro ed in quello generale di vita. *G Ital Med Lav Erg* 2014; 36(4): 50.

Correspondence: *Domenico M. Cavallo, Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia - Università degli Studi dell'Insubria, Via Valleggio 11, 2210 Como, Italy, E-mail: domenico.cavallo@uninsubria.it*

SESSIONE PLENARIA
Il lavoro come promozione della salute

Pietro Sartorelli¹, Gabriele d'Hauw¹, Valentina Paolucci²

La salute dell'individuo al lavoro: dalla prevenzione alla promozione della salute

¹ Dipartimento di Biotecnologie mediche Università degli Studi di Siena, UOSA Medicina del Lavoro AOUS, Siena

² UF PISLL Grosseto, AUSL Toscana sud est, Grosseto

RIASSUNTO. L'ambiente di lavoro rappresenta il setting ideale per interventi di promozione della salute (PdS).

La promozione della salute nei luoghi di lavoro (*Workplace Health Promotion* - WHP) deve rappresentare un intervento preventivo che tiene conto degli effetti sulla salute sia delle abitudini di vita che dei rischi occupazionali. Gli effetti dei rischi professionali infatti sono spesso additivi o moltiplicativi rispetto a quelli dei rischi extraprofessionali.

Nel modello moderno e sostenibile dei luoghi di lavoro la salute, sicurezza e produttività giocano un ruolo essenziale. L'obiettivo può essere ottenuto assicurando il benessere dei lavoratori attraverso il miglioramento dell'ambiente di lavoro congiunto alla realizzazione di vari tipi di iniziative di WHP. Il *Total Worker Health* (TWH) del NIOSH ha come scopo

l'integrazione della prevenzione dei rischi lavorativi con la WHP e il benessere dei lavoratori. Se l'approccio preventivo tradizionale è rivolto ad assicurare la sicurezza e la salubrità del lavoro, il TWH integra questi aspetti con le attività volte al miglioramento del benessere generale dei lavoratori.

Particolare attenzione è rivolta alla stima dei ritorni dell'investimento (*Return on Investment ROI*) degli interventi di WHP, in termini di risparmio monetario ottenuto tramite riduzione delle prestazioni sanitarie e dell'assenteismo.

Tuttavia i risultati di tali stime sembrano essere influenzati dalla metodologia adottata dato che gli studi di alta qualità mostrano ritorni finanziari più bassi se confrontati con quelli di qualità moderata o bassa.

L'applicazione dei concetti socio-ecologici alle iniziative di PdS offre un supporto sostenibile ai cambiamenti individuali.

Il modello PROCEDE-PROCEED fornisce una procedura per la pianificazione di progetti di PdS e gli strumenti per stimare l'efficacia dei programmi proposti. In questo quadro è possibile valutare i bisogni di salute e qualità della vita della comunità a cui ci si rivolge e definire programmi di PdS in grado di soddisfare tali necessità.

Parole chiave: promozione della salute, luoghi di lavoro, Medicina del Lavoro, stile di vita, prevenzione.

ABSTRACT. *THE INDIVIDUAL HEALTH AT WORK: FROM PREVENTION TO HEALTH PROMOTION. The workplace represents the ideal setting for Health Promotion (HP) interventions. The Workplace Health Promotion (WHP) should be a preventive measure that takes into account the effects on health of both lifestyle and occupational risks. The effects of occupational risks are often additive or synergistic with respect to those of non-occupational risks. In the modern and sustainable model of workplaces, health, safety and productivity play an essential role. The objective can be achieved by ensuring the wellbeing of workers through the improvement of the workplace conditions combined with the implementation of WHP initiatives. The Total Worker Health*

Introduzione

Il presupposto della promozione della salute nei luoghi di lavoro (*Workplace Health Promotion* - WHP) è che la salute dei lavoratori dipenda per buona parte dalle loro abitudini di vita (1). La WHP è focalizzata sugli stili di vita in grado di influenzare negativamente lo stato di salute quali il fumo di tabacco, le abitudini alimentari non corrette, la sedentarietà, l'abuso di alcol e di altre sostanze, l'eccessiva esposizione a radiazioni UV e la cattiva *compliance* dei pazienti che non seguono correttamente terapia e norme comportamentali prescritte dai sanitari.

L'ambiente di lavoro rappresenta il setting ideale per interventi di promozione della salute (PdS). Si deve infatti considerare che:

- sul posto di lavoro si può raggiungere la maggior parte della popolazione adulta;
- la sorveglianza sanitaria favorisce la ripetizione nel tempo delle iniziative di WHP;
- nel contesto lavorativo le influenze ambientali possono esercitare un'azione molto efficace sul comportamento dei singoli;
- l'educazione alla salute completa e rinforza la formazione/informazione sui rischi lavorativi.

La prevenzione nei luoghi di lavoro è tradizionalmente costituita dalla sorveglianza sanitaria e da interventi di Igiene Industriale. La prima, al contrario della WHP, costituisce principalmente una forma di prevenzione secondaria (diagnosi precoce delle malattie professionali) mentre i secondi sono volti alla riduzione dell'esposizione a rischi di tipo fisico, chimico e biologico, dipendendo dalle decisioni della dirigenza aziendale. I programmi di WHP che trattano problemi di salute conosciuti e pubblicizzati (effetti del fumo, della cattiva dieta, ecc.) sono più facilmente accettati dai lavoratori degli interventi ambientali e della sorveglianza sanitaria di legge e possono far superare lo scetticismo nei confronti dell'azione preventiva in generale. Ciò ovviamente non deve avvenire a scapito delle risorse per la bonifica degli ambienti di lavoro e il miglioramento di strutture, impianti e attrezzature.

La WHP deve rappresentare un intervento preventivo che tiene conto degli effetti sulla salute sia delle abitudini di vita che dei rischi occupazionali. Gli effetti dei rischi professionali infatti sono spesso additivi o moltiplicativi ri-

(TWH) of NIOSH integrates occupational risk prevention with WHP and wellness. If the traditional preventive approach is aimed at ensuring safety and health at work, the TWH integrates these aspects with the activities aimed at improving the overall health of employees.

Particular attention is given to the assessment of the Return on Investment (ROI) of the WHP interventions. The ROI seems to be influenced by the methodology adopted, as higher methodological quality studies provide evidence of smaller financial returns.

The application of socio-ecological concepts to HP initiatives supports individual changes. The PROCEED-PROCEED model provides a procedure for planning HP projects and tools to assess the effectiveness of the proposed programs. In this framework it is possible to evaluate the health needs and the quality of life of the community to which it is addressed.

Key words: Health Promotion, workplace, Occupational Health, lifestyle, prevention.

petto a quelli dei rischi extraprofessionali. Esempi di sovrapposizione tra rischi professionali ed extraprofessionali sono l'esposizione a IPA e benzene contenuti sia nel fumo di sigaretta che in molti luoghi di lavoro e l'interferenza dell'alcol nella biotrasformazione dei tossici industriali. Per di più i lavoratori esposti ad elevati rischi professionali (quali edili e autotrasportatori) generalmente presentano abitudini di vita meno salutari. Si deve infatti considerare la differente percezione del rischio da parte dei lavoratori con in linea di massima una maggiore attenzione agli stili di vita da parte dei *white collars* rispetto ai *blue collars*. Così le abitudini di vita possono influenzare il giudizio di idoneità ponendo problemi etici di non facile soluzione.

La salute globale del lavoratore (*Total Worker Health*)

Nel modello moderno e sostenibile dei luoghi di lavoro la salute, sicurezza e produttività giocano un ruolo essenziale. L'obiettivo può essere ottenuto assicurando il benessere dei lavoratori attraverso il miglioramento dell'ambiente di lavoro congiunto alla realizzazione di vari tipi di iniziative di WHP (2). Il programma *Total Worker Health* (TWH) del NIOSH ha come scopo l'integrazione della prevenzione dei rischi lavorativi con la WHP e il benessere dei lavoratori (3). Se l'approccio preventivo tradizionale è rivolto ad assicurare la sicurezza e la salubrità del lavoro, il TWH integra questi aspetti con le attività volte al miglioramento del benessere generale dei lavoratori. Il lavoro rappresenta infatti un importante determinante di salute dato che molti fattori lavoro-correlati (quali salari, orario di lavoro, rapporti con colleghi e superiori, accesso alle ferie, rapporto tra lavoro e vita privata) hanno un impatto importante sul benessere dei lavoratori, delle loro famiglie e delle relative comunità (3). L'integrazione operata dalla TWH sarebbe in grado di ridurre al tempo stesso le spese dovute all'indennizzo degli infortuni e delle malattie professionali, le spese sanitarie e i costi indiretti quali quelli derivanti dall'assenteismo. In generale i programmi di TWH necessitano di politiche e regolamenti di supporto.

Evidenze scientifiche dimostrano che rischi propri dell'ambiente di lavoro possono contribuire all'insorgenza di

problemi di salute prima considerati non correlati con il lavoro, rendendo non chiara la distinzione tra morbidità lavoro-correlata e quella legata agli stili di vita. Un esempio di sovrapposizione è rappresentato da obesità e condizioni di lavoro (4). Se da un lato il lavoro fisicamente troppo impegnativo rende faticoso fare esercizio e preparare alimenti salutari, dall'altro il lavoro sedentario con posizione seduta protratta favorisce il sovrappeso. Pasti irregolari e/o troppo corti costringono a mangiare rapidamente e a consumare cibi pronti, mentre l'eccessivo apporto alimentare può derivare da situazioni di disagio lavorativo, in particolare nei rapporti con i colleghi e superiori. Anche i disturbi del sonno possono essere correlati al lavoro, soprattutto in relazione ai turni e all'eccesso di ore lavorative (5).

Esempi di programmi integrati sono quelli di riduzione del rischio da gas, polveri e fumi irritanti abbinato alla lotta al tabagismo e gli interventi ergonomici nel luogo di lavoro armonizzati con programmi fisioterapici per i lavoratori affetti da patologie osteoarticolari. Anche la prevenzione degli incidenti stradali costituisce un anello di congiunzione tra lavoro e vita privata, data la frequenza degli incidenti in itinere. Nel documento *The NIOSH Total Worker Health program: seminal research papers* (6) è possibile trovare molti esempi di organizzazioni e aziende statunitensi che hanno documentato miglioramento del benessere dei lavoratori e riduzione dei costi ottenuti tramite programmi integrati di salute e sicurezza.

Efficacia degli interventi di WHP

I costi delle iniziative di WHP, in particolare quando sono completamente a carico delle imprese, impongono una valutazione dei risultati anche sotto l'aspetto economico. Perciò particolare attenzione è rivolta alla stima dei ritorni dell'investimento (*Return on Investment* ROI) degli interventi di WHP, in termini di risparmio monetario ottenuto tramite riduzione delle prestazioni sanitarie e dell'assenteismo (7). Tali stime, in Paesi come gli USA, sono basate sui dati derivanti dalle polizze assicurative stipulate dalle singole aziende per la copertura sanitaria dei propri dipendenti e risultano generalmente positive. Tuttavia in Europa l'esistenza di un welfare che prevede l'assistenza sanitaria rende difficile questo tipo di valutazione. Inoltre i risultati così ottenuti sembrano essere influenzati dalla metodologia adottata. Baxter et al. (8) in una metanalisi della letteratura hanno studiato il rapporto tra ROI e qualità dei metodi impiegati nei programmi di WHP. In generale gli studi di WHP dimostravano dei ROI positivi. Nei 61 articoli esaminati pubblicati dal 1984 al 2012 la qualità metodologica risultava in aumento nel tempo ed era inversamente correlata al ROI. In pratica gli studi di alta qualità mostravano ritorni finanziari più bassi se confrontati con quelli di qualità moderata o bassa. I risultati ponevano l'accento sull'importanza dei metodi e dei disegni di studio adottati.

L'attuazione di programmi di WHP nelle piccole imprese risulta di particolare difficoltà. I lavoratori impiegati in queste realtà difficilmente hanno le opportunità che vengono offerte agli addetti delle grandi aziende nel

campo della WHP malgrado siano spesso caratterizzati da un grado di educazione più basso associato a maggiori livelli di fumo, inattività fisica, obesità e minore adesione a programmi di screening per malattie cardiovascolari e tumori (9). Se la gestione della WHP nelle realtà lavorative più piccole può risultare più semplice per la minore stratificazione gerarchica, vari fattori contestuali la rendono di fatto meno attraente ai datori di lavoro. Tra questi, oltre ai costi, la minore durata delle attività (in USA solo metà sopravvive oltre i 5 anni) e l'elevato turnover dei dipendenti diminuiscono l'interesse aziendale nella prevenzione delle patologie croniche (10).

L'applicazione dei concetti socio-ecologici nella progettazione degli interventi di WHP: il modello PROCEED-PROCEED

L'applicazione dei concetti socio-ecologici alle iniziative di PdS offre un supporto sostenibile ai cambiamenti individuali. Le comunità rappresentano setting ideali per indirizzare la popolazione verso stili di vita salutari. D'altra parte si deve considerare come il *setting* lavoro e il *setting* comunità siano spesso strettamente connessi. Interventi focalizzati unicamente su individui e piccoli gruppi comportano l'impiego di molte risorse e hanno una sostenibilità limitata. Strategie che interessino cambiamenti sociopolitici e ambientali costituiscono un approccio economico e sostenibile (11).

Il modello PROCEED-PROCEED (Tabella I), proposto negli anni '70 da LW Green, è uno dei primi ideati per supportare la progettazione di iniziative di PdS. Si tratta di un modello multidimensionale e multidisciplinare che richiede non solo la conoscenza delle basi teoriche della PdS, ma anche familiarità con i metodi epidemiologici, le regole che governano le comunità, le tecniche educative, oltre ad esperienza in campo politico/amministra-

tivo (12). Il modello fornisce una procedura per la pianificazione di progetti di PdS e gli strumenti per stimare l'efficacia dei programmi proposti. In questo quadro è possibile valutare i bisogni di salute e qualità della vita della comunità a cui ci si rivolge e definire programmi di PdS in grado di soddisfare tali necessità.

Negli interventi di PdS tradizionali gli obiettivi sono fissati in base alle preferenze dei pianificatori pensando che si otterrà comunque un risultato positivo in termini di miglioramento della salute e della qualità della vita della popolazione su cui si interviene. In sostanza i programmi vengono sviluppati senza una procedura prefissata, basandosi sulla sensazione soggettiva che quel tipo di intervento è necessario e dando per scontati gli obiettivi. Uno dei principi del modello invece è quello di focalizzare fin dall'inizio l'attenzione sulle *outcomes* desiderate chiarendo i motivi per cui si deve ricercarle. Solo allora si procede a ritroso per identificare le strategie per raggiungere tali risultati. L'approccio inoltre è partecipativo perché si considera che gli interventi di Sanità Pubblica siano molto più efficaci se maturati con il contributo diretto della comunità stessa nel definire i propri problemi e identificare le soluzioni.

Le due fasi principali PRECEDE e PROCEED sono articolate in varie fasi operative (Tabella I). La fase PRECEDE individua gli obiettivi prioritari nella popolazione di riferimento e i criteri per la valutazione dell'efficacia dell'iniziativa. La successiva fase PROCEED riguarda l'attuazione dell'intervento e la valutazione della sua efficacia.

WHP e Medico Competente

Per agire nell'ambito della WHP il Medico Competente dovrebbe essere a conoscenza delle evidenze esistenti nel-

Tabella I. Fasi del modello precede-proceed

PRECEDE Predisposing, Reinforcing and Enabling Constructs in Educational Diagnosis and Evaluation	
Fasi	
<i>diagnosi sociale</i>	identificazione di come il contesto sociale influenzi la qualità della vita
<i>diagnosi epidemiologica, comportamentale e ambientale</i>	individuazione dei problemi di salute prioritari e dei fattori comportamentali e ambientali in grado di influenzarli
<i>valutazione educativa ed ecologica</i>	selezione dei fattori predisponenti (conoscenze, tradizioni) e abilitanti (risorse, barriere) che aiutano o ostacolano la motivazione al cambiamento
<i>diagnosi politica e amministrativa</i>	valutazione delle capacità amministrative e organizzative necessarie a implementare l'intervento
PROCEED Policy, Regulatory and Organizational Constructs in Educational and Environmental Development	
Fasi	
<i>implementazione</i>	attuazione del programma
<i>valutazione del processo</i>	valutazione del raggiungimento degli obiettivi
<i>valutazione dell'impatto</i>	valutazione dei cambiamenti di comportamento
<i>valutazione delle outcomes</i>	verifica dei cambiamenti in termini di salute e/o qualità della vita

l'ambito degli interventi di WHP. Però la diversa collocazione aziendale del medico del lavoro nei vari Paesi non consente di adattare facilmente alla situazione Italiana quanto riportato in letteratura. Pertanto risulta indispensabile l'adattamento alle realtà locali delle evidenze disponibili (13). Al di fuori di iniziative di vasta portata (promosse dal SSR o dalle stesse aziende) per i Medici Competenti l'intervento è solitamente limitato al *counseling* individuale.

Se si vuole intraprendere un intervento di WHP in una realtà lavorativa è necessario partire dalle esigenze della specifica azienda e calibrare l'intervento. Può essere utile utilizzare i dati che emergono dalla sorveglianza sanitaria per rilevare le problematiche della propria popolazione lavorativa e individuare il campo di intervento più necessario (alimentazione, attività fisica, eccesso di fumo o alcol ecc.). Se dalla prima raccolta di dati risultasse che la problematica sanitaria e di stili di vita interessa pochi casi, il Medico Competente sensibilizzerà i singoli lavoratori sul problema cercando di stabilire un collegamento con i MMG. Se invece la problematica apparisse più vasta potrà individuare enti pubblici o associazioni che promuovono interventi mirati con i quali elaborare un programma specifico per poi proporlo all'azienda e ai lavoratori. In un sistema di tale tipo il Medico Competente rappresenta il fulcro del collegamento tra azienda-lavoratori ed ente esterno. Per invogliare l'impegno da parte dei datori di lavoro il programma di WHP può essere mirato a fattori di rischio che potrebbero incidere in maniera significativa sull'idoneità alla mansione (ad esempio nel caso di lavoro a turni la prevenzione di diabete e ipertensione).

Purtroppo i dati sui fattori di rischio individuali per malattie croniche (fumo, attività fisica, massa corporea) vengono raccolti dai Medici Competenti con strumenti diversi e in modo disomogeneo e ciò impedisce l'utilizzo di una vera e propria miniera di informazioni (14). Ad esempio per indagare l'utilità di interventi di prevenzione delle patologie cardiovascolari nella popolazione lavorativa sarebbe utile la raccolta di vari parametri quali altezza, peso, indice di massa corporea (*body mass index* BMI), circonferenza vita, pressione arteriosa e sedentarietà.

Una recente ricerca di consenso Delphi Italiana ha permesso di selezionare un set specifico di strumenti e indicatori per monitorare i principali fattori di rischio individuali per malattie croniche (fumo, alcol, attività fisica, alimentazione, stress e salute mentale) nonché dati generali e relativi alla mansione (14).

Bibliografia

- 1) Sorensen G, Barbeau EM. Integrating Occupational Health, safety and worksite health promotion: opportunities for research and practice. *Med Lav* 2006; 97: 240-257.
- 2) Andersen LL, Proper KI, Punnett L, et al. Workplace Health Promotion and wellbeing. *Scientific World Journal* 2015; 2015:606875. doi: 10.1155/2015/606875
- 3) <https://www.cdc.gov/niosh/twh/totalhealth.html>
- 4) Luckhaupt SE, Cohen MA, Li J, Calvert GM. Prevalence of Obesity Among U.S. Workers and Associations with Occupational Factors. *Am J Prev Med* 2014; 46: 237-248.
- 5) Caruso CC. Negative Impacts of Shiftwork and Long Work Hours. *Rehabil Nurs* 2014; 39: 16-25.
- 6) <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-146/pdfs/2012-146.pdf>
- 7) Sartorelli P, Baccolo T, Baldasseroni A, et al. La promozione della salute nei luoghi di lavoro. Technical Assessment. Apostoli P, Bertazzi PA, Imbriani M, Soleo L, Violante F. Strumenti di orientamento e aggiornamento in Medicina del Lavoro. Piacenza, Nuova Editrice Berti, 2011. ISBN 978-88-7364-519-1.
- 8) Baxter S, Sanderson K, Venn AJ, et al. The relationship between return on investment and quality of study methodology in workplace health promotion programs. *Am J Health Promot* 2014; 28(6): 347-363. doi: 10.4278/ajhp.130731-LIT-395.
- 9) Harris JR, Huang Y, Hannon PA, et al. Low-socioeconomic status workers: health risks and how to reach them. *J Occup Environ Med* 2011; 53: 132-138.
- 10) Harris JR, Hannon PA, Beresford SAA, et al. Health Promotion in smaller workplaces in the United States. *Annu Rev Public Health* 2014; 35: 327-342.
- 11) Kegler MC, Honeycutt S, Davis M, et al. Policy, systems, and environmental change in the Mississippi Delta: considerations for evaluation design. *Health Educ Behav* 2015; 42(1 Suppl): 57S-66S.
- 12) Green LW, Kreuter MW. *Health Promotion Planning: An Educational and Environmental Approach* (2nd ed.). Mountain View CA, Mayfield, 1991.
- 13) Sartorelli P, Baldasseroni A, Franco G. Linee guida SIMLII sulla promozione della salute nei luoghi di lavoro. *G Ital Med Lav Erg* 2010; 32(4 Suppl 1): 448-451.
- 14) Cremaschini M, Moretti R, Valoti M, et al. Ricerca di consenso Delphi sugli strumenti per il monitoraggio da parte del medico competente dei principali fattori di rischio individuali per malattie croniche. *Med Lav* 2017; 108: 24-32.

Corrispondenza: Pietro Sartorelli, Dipartimento di Biotecnologie mediche, Università degli Studi di Siena, Viale Bracci 16, 53100 Siena, Italy, Tel. 0577/586755, E-mail: pietro.sartorelli@unisi.it

Marco M. Ferrario, Rossana Borchini

Dalla *Work Health Promotion* alla *Total Worker Health*, quale contributo del medico del lavoro?

Centro Ricerche EPIMED, Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università degli studi dell'Insubria; e SC di Medicina del Lavoro, Preventiva e Tossicologia, ASST dei Sette Laghi, Varese

RIASSUNTO. I programmi di WHP sono un insieme di interventi e strategie aziendali orientate al miglioramento della organizzazione aziendale nonché alla promozione della salute, e quindi aumentare la capacità lavorativa. Negli Stati Uniti d'America, ove questi programmi hanno ampia diffusione, le aziende sono incentivate dalla riduzione dei premi assicurativi. Le più recenti ed accurate meta-analisi hanno rilevato efficacia degli interventi nel migliorare la *work ability* e ridurre le assenze per malattia, mentre scarsi gli effetti su cessazione dell'abitudine al fumo, aumento dell'attività fisica, promozione di alimentazione sana e riduzione del sovrappeso corporeo. Un aspetto critico è la talvolta scarsa partecipazione, essendo avvertiti percepiti scarsamente orientati al miglioramento della sicurezza in ambito lavorativo. Il NIOSH, fin dai primi anni 2000 ha cercato di affrontare l'integrazione tra azioni di promozione della sicurezza nei ambienti di lavoro e di migliorare la salute dei lavoratori in relazione alle patologie a maggiore impatto sociale e che riconoscevano concause lavorative. Nel 2011 ha varato un nuovo programma, il *Total Worker Health* (TWH), con l'obiettivo di integrazione dei programmi di sicurezza sul lavoro con quelli WHP, per prevenire infortuni e malattie professionali e non, e promuovere salute e benessere negli ambienti di lavoro. Una recente *review* che ha considerato 24 programmi integrati, ha riscontrato una evidenza di efficacia per cessazione dall'abitudine al fumo, incremento del consumo di frutta e verdura e riduzione della sedentarietà, ed ha evidenziato alcuni aspetti metodologici critici, quali un alto rischio di *bias* di selezione e di abbandono, oltre che di eterogeneità tra studi nella progettazione e modalità di realizzazione. Queste evidenze di bassa efficacia si contrappongono a quelli ottenuti da diversi studi italiani, che si sono caratterizzati per il diretto coinvolgimento del medico del lavoro aziendale. Infatti il concetto di TWH, inteso come approccio olistico alla salute del lavoratore con la finalità di prevenire le malattie lavoro correlate e le patologie cronicodegenerative, non può eludere il contributo essenziale del medico del lavoro, che è in grado di integrare in un rapporto personale con il lavoratore i profili di rischio lavorativo ed individuale, chiamato negli anni a venire ad un contributo essenziale in una prospettiva di *Precision Public Health*, intesa come possibilità di indirizzare specifici interventi di prevenzione dei rischi lavorativi e non agli strati di popolazione che meglio possano beneficiarne.

Parole chiave: promozione della salute, sicurezza negli ambienti di lavoro, malattie lavoro-correlate, malattie cronicodegenerative.

ABSTRACT. FROM *WORKPLACE HEALTH PROMOTION* (WHP) TO *TOTAL WORKER HEALTH* (TWH): THE ROLE OF OCCUPATIONAL PHYSICIANS. WHP programs are a set of interventions that seek to improve the work organization and worker health, to achieve

Esistono diverse definizioni di *Workplace Health Promotion* (WHP), che talvolta rendono poco l'approccio culturale-scientifico e quindi realizzativo, che sottendono. L'*International Association for Worksite Health Promotion* (IAWHP) definisce il WHP come un insieme di interventi e strategie aziendali finalizzate alla ottimizzazione della salute dei lavoratori e della loro capacità lavorativa, attraverso il coinvolgimento, oltre che dei datori di lavoro e dei lavoratori stessi, anche della società in senso ampio (1). Andando a spulciare nel sito dedicato della associazione, si riesce a riconoscere una tipica impostazione sociologico-economica che privilegia l'analisi e l'intervento sulla organizzazione del lavoro, avendo ben presente l'aspetto del miglioramento della produttività. L'*European Network for Workplace Health Promotion* (ENWHP) definisce WHP come il risultato di sforzi congiunti da parte di datore di lavoro, lavoratori e società, finalizzati al benessere dei lavoratori attraverso tre azioni focali: migliorare l'organizzazione e l'ambiente lavorativo, promuovere la partecipazione attiva ai programmi di promozione della salute ed incoraggiare lo sviluppo delle risorse personali dei singoli lavoratori (2). In questo caso sembra privilegiato l'aspetto della promozione della salute e della partecipazione dei lavoratori, ma apparentemente in assenza di uno stretto legame tra condizioni di sicurezza e programmi di promozione: questi ultimi possono essere realizzati senza entrare in relazione con le reali condizioni di sicurezza del lavoro. Il tallone di Achille di questo approccio è rappresentato dalla frequente bassa partecipazione dei lavoratori, che ne compromette l'efficacia, in quanto i programmi vengono percepiti come poco adeguati ad affrontare e tentare di risolvere gli aspetti organizzativi e di sicurezza connessi alla attività lavorativa svolta. Basandosi su questi approcci, in Europa dal 1996 è stato istituito l'*European Network for Workplace Health Promotion* (ENWHP) con l'obiettivo di fornire a tutti gli stati membri indicazioni sulle buone pratiche di WHP al fine di progettare e realizzare programmi in ambito aziendale (3).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), indica un percorso preferenziale per la realizzazione di un ambiente di lavoro sano, ispirato dal concetto di salute definito nella Carta di Ottawa (interazione positiva di benessere fisico, mentale e sociale), basato su quattro interventi fondamentali: la riduzione dei fattori di rischio occupazionali (*hazard*) per la salute e la sicurezza; la riduzione dei

a better work ability. In the States these programs are spread out in the large majority of industries, because of reduced insurance premium. More recent and accurate meta-analyses have shown modest effects, restricted to improvements in work ability and absenteeism, with no effects on health behavioural risk factors. A critical issue is the low participation, as they are perceived by workers as poorly oriented to improve work safety. Since the early 2000s NIOSH has been promoting the integration of health promotion and occupational safety programs based on the notion that improvement in working condition has the potential to reduce occupational diseases and accidents as well as to prevent chronic-degenerative diseases with a high burden in populations. This effort resulted in launching a new prevention program in 2011, named Total Worker Health (TWH), with the objective of emphasising the integrating occupational safety programs with WHP.

A recent review of 24 integrated programs, found low size-effect evidences of efficacy in cessation of smoking, improving dietary consumption of vegetable and fruits and reducing sedentary habits. This review also highlighted selection and attrition biases in many studies as well as heterogeneity in program design and implementation. Such evidence of low effectiveness is opposed to findings made by Italian studies that were characterised by the direct involvement of occupational physicians. The concept of TWH, being a holistic approach to worker health aimed at preventing work related diseases and chronic-degenerative diseases, cannot reduce the pivotal role of occupational physicians, who is the actor of the integration of work-related and personal risk profiles at individual level. This approach emphasises the key contribution of in the workplace by occupational physicians in a precision public health perspective, i.e. "to provide the right intervention to the right population at the right time", which means to deliver precise health prevention activities to populations that might benefit more, taking into account the work environment.

Key words: Workplace Health Promotion, Total Worker Health, Health Promotion, Occupational Safety and Health, work related diseases.

fattori di rischio psicosociale, inclusa l'organizzazione del lavoro; l'investimento di risorse per il miglioramento delle condizioni di salute dei lavoratori (inclusa la promozione di stili di vita sani); la possibilità di trasferire alle famiglie, e quindi alla comunità, le esperienze positive e gli interventi per il miglioramento della salute dei lavoratori (4).

Negli Stati Uniti, nel corso degli ultimi 25 anni, il numero di organizzazioni e aziende che offrono programmi WHP ai dipendenti è progressivamente aumentato, raggiungendo l'80% dei luoghi di lavoro nel 1990 e quasi il 90% delle aziende con almeno 50 dipendenti nel 2000 (5,6). L'interesse è attribuibile sia alla nozione che i lavoratori americani trascorrono sempre più tempo al lavoro e sia al fatto che le malattie dei lavoratori rappresentano un costo assicurativo per i datori di lavoro. Una quota preponderante dei decessi è associabile a fattori di rischio comportamentali e quindi modificabili (7): fumo di tabacco, eccessiva alimentazione, sedentarietà e consumo di alcol; fattori che è noto essere connessi alle 20 patologie maggiormente prevalenti e costose negli Stati Uniti, quali diabete mellito, coronaropatie e bronco-pneumopatie croniche ostruttive (8). Si tratta di fattori di rischio, che possono essere affrontati e modificati nell'ambiente di lavoro: un recente studio condotto su coorti italiane ha evidenziato che un approccio preventivo che privilegia i quattro fattori di rischio comportamentali menzionati

(con l'attenzione di distinguere gli effetti dei livelli di attività fisica lavorativa e sportiva nel tempo libero), ha la stessa accuratezza predittiva nei confronti della coronaropatia dei fattori di rischio tradizionali che includono oltre al fumo, colesterolo totale ed HDL, diabete mellito ed ipertensione (9). L'*United States Department of Health and Human Services* ha lanciato nel 2000 un programma di promozione della salute e prevenzione delle malattie, denominato *Healthy People 2010*, che contiene 467 obiettivi per migliorare la salute di tutti i cittadini americani (10). Tra i primi dieci indicatori di salute, sei vengono affrontati in programmi di WHP: promozione dell'attività fisica, riduzione di sovrappeso e obesità, riduzione del fumo di tabacco e dell'assunzione di alcol, riduzione degli infortuni e promozione degli accessi al servizio sanitario (con inclusione di una gamma di servizi di screening per i tumori) (11).

Il luogo di lavoro è quindi considerato un contesto propizio per la promozione della salute in considerazione della presenza di reti sociali naturali, della possibilità di raggiungere grandi popolazioni, nonché per le possibilità offerte di realizzare il follow-up e quindi valutarne l'efficacia (12,13). Soler et al. nel 2010 (14) hanno pubblicato un'ampia revisione che ha esaminato oltre 50 programmi di WHP, fornendo gli elementi essenziali per stesura della *Guide to Community Preventive Services* del CDC di Atlanta (15), che contiene le raccomandazioni per datori di lavoro per la realizzazione efficaci programmi di WHP. I programmi analizzati erano realizzati attraverso operazioni di educazione sanitaria (e.g. alimentazione sana, cessazione del fumo di tabacco, riduzione del consumo alcolico, promozione dell'attività fisica), interventi nell'ambiente di lavoro (e.g. divieto di fumo nel posto di lavoro, miglioramenti della ristorazione collettiva), e politiche aziendali (e.g. incentivi e sussidi per facilitare la partecipazione allo studio). Gli *outcomes* considerati erano fisiologici (riduzione di pressione arteriosa, BMI, colesterolemia) o comportamentali (consumo di alcol, fumo, dieta, attività fisica, uso di cinture di sicurezza, assenteismo, accesso al servizio sanitario e adesione agli screening tumorali). Dalla review è emerso che, seppur con *effect size* piuttosto piccoli, i programmi caratterizzati da interventi di *Assessment of Health Risks with Feedback Plus* (AHRFP), cioè con un feedback individuale ai partecipanti sul loro stato di rischio e di salute, incontri periodici di educazione sanitaria e motivazionali, hanno ottenuto risultati migliori, relativamente ad alcuni *outcomes* comportamentali e fisiologici (fumo, assunzione di alcolici, grassi nella dieta, assenteismo). Non sono stati evidenziati effetti positivi su incremento dell'attività fisica, composizione corporea e consumo di frutta e verdura.

Rongen et al. (16) hanno pubblicato nel 2013 una metanalisi di 18 lavori, finalizzata alla verifica dell'influenza sulla efficacia dei programmi WHP di: qualità degli studi, tipo di intervento e caratteristiche delle popolazioni. Sono stati considerati esclusivamente studi randomizzati controllati, con informazioni quantitative degli *outcomes*, per calcolarne l'*effect size*. La metanalisi ha evidenziato effetti positivi, ma di modesta entità di effetto, sul miglioramento della percezione della propria condizione di salute da parte dei partecipanti, miglioramento della *work ability* e ridu-

zione delle assenze per malattia e quindi sulla produttività. Scarsi effetti su cessazione dell'abitudine al fumo, aumento della attività fisica, promozione di alimentazione sana e riduzione del sovrappeso corporeo. Dalla meta-analisi è inoltre emersa evidenza di maggior efficacia per i programmi che prevedevano periodici incontri di educazione sanitaria con servizi di *counseling*. Analoghi risultati erano stati riportati da precedenti revisioni sistematiche della letteratura (17,18).

Tradizionalmente, gli interventi per la sicurezza e la salute sul lavoro (*Occupational Safety and Health - OSH*) orientati alla prevenzione di infortuni e malattie legate al lavoro e quelli di WHP sono stati realizzati parallelamente e indipendentemente nei luoghi di lavoro. Nell'ultimo decennio, l'interesse per l'integrazione degli interventi di OSH e HP è cresciuto in modo sostanziale (19). Una delle ragioni principali di tale interesse è rappresentata dall'evidenza che fattori di rischio lavorativi contribuiscono a patologie tradizionalmente considerate non correlate al lavoro (come le malattie cardiovascolari, i disturbi del sonno o la depressione) (20,21).

Dal 2003 il *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) ha sostenuto l'integrazione di interventi di OSH e di HP ed i programmi iniziali portarono, nel 2008, alla stesura della *WorkLife Initiative*, una guida per i datori di lavoro che contiene indicazioni e orientamenti pratici per la realizzazione di programmi aziendali finalizzati alla riduzione dei rischi lavorativi e alla promozione della salute e del benessere dei lavoratori (22). Nel giugno 2011 il NIOSH ha definito e registrato un nuovo programma, denominandolo *Total Worker Health* (TWH), che enfatizza una strategia che integra OSH e WHP, per prevenire infortuni e malattie, professionali e non, e promuovere salute e benessere negli ambienti di lavoro (23).

Feltner C. et al. nel 2016 ha pubblicato una *review* che esamina 24 programmi integrati OSH – HP, descritti in 33 pubblicazioni scientifiche (24). Gli studi considerati erano prevalentemente randomizzati controllati (n. 12) e con singolo gruppo valutato pre- e post- intervento (n. 9), quindi controllati non randomizzati (n. 2) e di coorte (n. 1). Erano realizzati in differenti settori lavorativi (e.g. industria manifatturiera, assistenza sanitaria e servizi sociali, terziario) e contesti (e.g. piccola impresa vs grande impresa) e diretti a differenti popolazioni di lavoratori (e.g. quadri impiegatizi vs operai). È stata riscontrata evidenza di efficacia, seppur con una limitato *effect size*, per la cessazione dall'abitudine al fumo, l'incremento del consumo di frutta e verdura e la riduzione della sedentarietà. La review conclude evidenziando alcuni limiti degli studi analizzati: l'alto rischio di *bias* di selezione e di attrito (n. 10 studi ad alto rischio e n. 5 a rischio intermedio), eterogeneità di progettazione e di conduzione dell'intervento, nonché delle popolazioni lavorative coinvolte e di *outcomes*.

Queste evidenze di scarsa efficacia si contrappongono a studi italiani, che si caratterizzano per il diretto coinvolgimento del medico del lavoro aziendale. Si tratta di interventi di identificazione e *counseling* per la riduzione dell'eccessivo consumo di alcol in autisti di ambulanze di pronto soccorso (25), di interventi combinati di prevenzione primaria e secondaria (identificazione dei soggetti

atopici all'assunzione con espressione di specifiche prescrizioni) nella riduzione della incidenza di patologie latente-correlate (26) in ambito sanitario, la possibilità di rilevazione della efficacia della introduzione di *vacutainer* per la riduzione degli IB da punture d'ago, in ambito ospedaliero, avendo adottato un sistema di registrazione che preveda l'accurata classificazione degli stessi per modalità di accadimento per categoria professionale coinvolta (27).

Il concetto di *Total Worker Health*, inteso come approccio olistico alla salute del lavoratore ha la finalità di prevenire le malattie lavoro correlate e le patologie cronico-degenerative. Un simile approccio, che non abbia come riferimento fondamentale nel nostro Paese il medico competente è destinato ad avere modesta efficacia. Non a caso, i codici etici ICOH e SIML hanno inserito la promozione della salute tra i doveri del medico del lavoro, e l'art. 25 comma 1-a del D.Lgs. 81/08 stabilisce l'opportunità per il medico competente di collaborare all'attuazione di programmi di promozione della salute.

In quest'ottica programmi di THW, oltre che essere realizzati con rigore metodologico, dovranno tener conto di caratteristiche anagrafiche e condizioni socio-economiche delle popolazioni lavorative; considerando lo specifico profilo di rischio occupazionale e le possibili sinergie e interferenze degli interventi con i fattori di rischio occupazionali e non. A tal proposito un recente lavoro pubblicato (28) ha evidenziato come l'attività fisica sportiva del tempo libero sia un importante fattore preventivo delle malattie cardiovascolari per i lavoratori sedentari, ma che la stessa attività sportiva può costituire un aggravare il rischio per lavoratori che già svolgono mansioni ad elevato impegno fisico.

Il medico competente quindi è chiamato ad un contributo essenziale in una prospettiva di *Precision Public Health*, intesa come possibilità di indirizzare gli interventi di prevenzione ai popolazioni in grado di poterne meglio beneficiare in base al proprio profilo di rischio. La personalizzazione dei programmi integrati di promozione della salute e della sicurezza in ambito lavorativa appare il punto centrale per il buon esito dei programmi stessi, potendo inoltre meglio sensibilizzare e coinvolgere i lavoratori. E chi meglio del medico competente è in una posizione privilegiata per realizzarli? A titolo esemplificativo sarebbero auspicabile realizzare programmi di screening per il tumore della mammella, adattati alle caratteristiche delle donne ma anche che tengano conto delle caratteristiche salienti dell'esposizione a turni lavorativi notturni. Solo la realizzazione di interventi multicentrici su ampie casistiche di lavoratrici, potrebbe garantire adeguato *sample size* per caratterizzarne o meno l'efficacia.

Bibliografia

- 1) International Association for Worksite Health Promotion. Advancing the global community of worksite health promotion practitioners. Atlanta Announcement on Worksite Health Promotion. 2009, March 26. <http://www.acsm-iawhp.org/files/AtlantaAnnouncement.pdf>
- 2) European Network for Workplace Health Promotion. Luxembourg Declaration on Workplace Health Promotion. 1997 ENWHP.
- 3) European Network for Workplace Health Promotion Work Health Promotion: Settings. 2012. Retrieved 19 March 2012 from: <http://www.enwhp.org/good-whp-practice/about-whp/settings.html>

- 4) Burton J. World Health Organization. Healthy Workplace Framework and Model: background and supporting literature and practices. 2010. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- 5) Aldana SG, Merrill RM, Price K, Hardy A, Hager R. Financial impact of a comprehensive multisite workplace health promotion program. *Prev Med* 2005; 40(2): 131-7.
- 6) Wilson MG, Holman PB, Hammock A. A comprehensive review of the effects of worksite health promotion on health-related outcomes. *Am J Health Promot* 1996; 10(6): 429-35.
- 7) Mokdad AH, Marks JS, Stroup DF, Gerberding JL. Actual causes of death in the U.S., 2000. *JAMA* 2004; 291(10): 1238-45.
- 8) Goetzel RZ, Hawkins K, Ozminkowski RJ, Wang S. The health and productivity cost burden of the "Top 10" physical and mental health conditions affecting six large U.S. employers in 1999. *J Occup Environ Med* 2003; 45(1): 5-14.
- 9) Veronesi G, Borchini R, Landsbergis P, et al. Cardiovascular disease prevention at the workplace: assessing the prognostic value of lifestyle risk factors and job-related conditions. *Int J Public Health* 2018 Jul; 63(6): 723-732.
- 10) USDHHS. Healthy People 2010. www.healthypeople.gov/Publications/
- 11) USDHHS. Leading health indicators: priorities for action. www.healthypeople.gov/LHI/Priorities.htm
- 12) Dishman RK, Oldenburg B, O'Neal H, Shephard RJ. Worksite physical activity interventions. *Am J Prev Med* 1998; 15(4): 344-61.
- 13) Hutchinson AD, Wilson C. Improving nutrition and physical activity in the workplace: a meta-analysis of intervention studies. *Health Promot Int* 2012; 27(2): 238-49.
- 14) Soler RE et al. A systematic review of selected interventions for worksite health promotion. The assessment of health risks with feedback. *Am J Prev Med*. 2010; 38(2s): s237-262.
- 15) Zaza S, Briss PA, Harris KW, eds. The Guide to Community Preventive Services: what works to promote health? New York: Oxford University Press, 2005.
- 16) Rongen A et al. Workplace Health Promotion. A meta-analysis of effectiveness. *Am J Prev Med* 2013; 44(4): 406-415.
- 17) Ferrario MM, Borsani A. Promozione della salute negli ambienti di lavoro: quali evidenze di efficacia? *G Ital Med Lav Erg* 2011; 33: 2, Suppl, 44-47.
- 18) Jackson N, Waters E, Guidelines for Systematic Reviews of Health P, Public Health Interventions T. The challenges of systematically reviewing public health interventions. *J Public Health (Oxf)* 2004; 26(3): 303-7.
- 19) Hymel PA, Loeppke RR, Baase CM, Burton WN, Hartenbaum NP, Hudson TW, et al. Workplace health protection and promotion: a new pathway for a healthier and safer workforce. *J Occup Environ Med* 2011; 53: 695-702.
- 20) Leigh JP, Markowitz SB, Fahs M, Shin C, Landrigan PJ. Occupational injury and illness in the United States. Estimates of costs, morbidity, and mortality. *Arch Intern Med* 1997; 157: 1557-68.
- 21) Dembe AE. The social consequences of occupational injuries and illnesses. *Am J Ind Med* 2001; 40: 403-17.
- 22) National Institute for Occupational Safety and Health. WorkLife Initiative. 2008. safer – Healthier people TM. DHHS (NIOSH) Publication No. 2010-140.
- 23) Schill AL, Chosewood LC. The NIOSH Total Worker Health™ Program. An Overview. *JOEM* 2013; 55(12): S8-S11.
- 24) Feltner C, Peterson K, Palmieri Weber C, Cluff L, Coker-Schwimmer E, Viswanathan M, Lohr KL. The Effectiveness of Total Worker Health Interventions: A Systematic Review for a National Institutes of Health Pathways to Prevention Workshop.
- 25) Ferrario MM, Borchini R, Borghi S, et al. Accertamenti sanitari per alcol-dipendenze. Primi risultati di una indagine condotta per un gruppo di operatori sanitari di unità mobili di soccorso. *G Ital Med Lav Erg* 2008; 30(3) Suppl 2: 87-89.
- 26) Borchini R, Landone S, Colombo S, Mombelli S, Ruspa M, Ferrario MM. Patologie da lattice nel personale sanitario: l'importanza della prevenzione primaria. *G Ital Med Lav Ergon* 2011 Lug-Set; 33(3) Suppl 2: 285-6.
- 27) Ferrario MM, Landone S, De Biasi M, et al. Analisi dei trend temporali (2004-11) dei tassi di infortunio biologico in un ospedale universitario del nord Italia. Quali evidenze di efficacia dei sistemi di prelievo a vuoto? *G Ital Med Lav Ergon* 2012 Jul-Sep; 34(3) Suppl: 275-7.
- 28) Ferrario MM, Roncaioli M, Veronesi G, et al. Differing associations for sport versus occupational physical activity and cardiovascular risk. *Heart* 2018 Jul; 104(14): 1165-1172.

Corrispondenza: Marco M. Ferrario, Centro Ricerche in Epidemiologia e Medicina Preventiva (EPIMED), Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università degli Studi dell'Insubria, Via O. Rossi 9 - Pad. Rossi, 21100 Varese, Italy, E-mail: marco.ferrario@uninsubria.it

Giancarlo Logroscino^{1,2}, Chiara Zecca¹

Occupational exposures, biomarkers and neurodegenerative diseases

¹ Department of Clinical Research in Neurology, Center for Neurodegenerative Diseases and the Aging Brain, University of Bari "Aldo Moro", "Pia Fondazione Cardinale G. Panico", Tricase, Lecce, Italy

² Department of Basic Medical Sciences, Neuroscience and Sense Organs, University of Bari "Aldo Moro", Bari, Italy

ABSTRACT. Brain aging is marked by progressive changes and characterized at cellular, and organ dysfunction occurring in several areas of the brain. The main processes have all in common the deposition of proteins that the brain cannot metabolize anymore. While the aging processes is generalized and present in all individuals is characterized by great variability among individuals with a minority of subjects that are very healthy even in very old age.

Epidemiological and laboratory studies suggest that environmental and occupation exposures years or decades before a diagnosis can trigger the processes that ultimately result in a neurodegenerative disease. The major areas of research in occupational epidemiology will be revised with the role of heavy metals, organic solvents, and pesticides as the main focus of this report.

The public health especially in the field of occupational epidemiology of NDG diseases needs an integrated approach. This has been recently named "convergence science", a transdisciplinary approach for a research which frames in the same convergence view several fields from epidemiology to physics, informatics, ecology to solve complex questions, including the role of occupation, in biomedicine.

Key words: neurodegenerative diseases, toxicants, solvents, metals, public health.

RIASSUNTO. ESPOSIZIONI PROFESSIONALI, BIOMARKERS E MALATTIE NEURODEGENERATIVE. L'invecchiamento cerebrale è segnato da cambiamenti progressivi caratterizzati da disfunzioni di cellule e d'organo in diverse aree del cervello. I principali processi sono accomunati dalla deposizione di specifiche proteine che il cervello non è più in grado di metabolizzare. Mentre il processo di invecchiamento è generalizzato e presente in tutti gli individui, è caratterizzato da grande variabilità tra individui, con una minoranza di soggetti che sono in piena salute in un'età avanzata. Studi epidemiologici e di laboratorio suggeriscono che esposizioni ambientali e occupazionali anni o decenni prima la diagnosi possono innescare il processo di degenerazione che culmina in una malattia neurodegenerativa. Le aree di maggiore ricerca della epidemiologia occupazionale saranno rivisitate con un particolare focus sul ruolo di metalli pesanti, solventi organici e pesticidi. La salute pubblica necessita, in particolare nel campo della epidemiologia occupazionale delle malattie neurodegenerative, un approccio integrato. Questo è stato recentemente definito "scienza della convergenza", un approccio interdisciplinare per una ricerca che inquadri insieme epidemiologia, fisica, informatica, per dare risposte appropriate alle complesse domande della biomedicina.

Parole chiave: malattie neurodegenerative, sostanze tossiche, solventi, metalli, salute pubblica.

Brain aging is marked by progressive changes and characterized at cellular, tissue and organ dysfunction occurring in several areas of the brain. The main processes have all in common the deposition of proteins that the brain cannot metabolize anymore. While the process is generalized and present in all individuals is characterized by great variability among individuals with a minority of subjects that are very healthy even in very old age. The clinical manifestations are broad involving several domains mainly affecting the cognitive performances but also motor features and functional features of the whole body. These changes are part of the aging pathological and physiological processes. At the same time these changes are also risk factors for a spectrum of central nervous system neurodegenerative disorders including Alzheimer's disease (AD), Parkinson's disease (PD), and amyotrophic lateral sclerosis (ALS).

Neurodegenerative disorders are in most cases thought to have complex etiologies. In each disorder, degeneration affects selected neuronal populations, resulting in characteristic clinical syndromes.

Protein aggregation is a unifying pathologic feature, although the specific proteins (e.g., tau, alpha-synuclein, TDP-43) and the location of the protein aggregates vary (1).

Globally, neurological disorders have a important impact both on mortality and disability: they account for about 5% of all deaths and disability-adjusted life-years from non-communicable disease. All these diseases are without an effective cure. Neurodegenerative and neurological diseases in general are probably without precise strategies for identification and research or at least in an early phase compared to other groups of chronic diseases as cancer, cardiovascular, and diabetes (2,3).

Neurodegenerative disorders are heterogeneous, complex and most cases are not typical but transitional phenotype involving many domains. There are no effective therapies even if for the first time many new therapies addressing causal pathways are on the way (4).

The focus to lower the load should be therefore on the identification of modifiable risk factors and prevention.

The causation of neurodegenerative diseases as in many chronic diseases is linked to a variable mix genetic, environmental and life style risk factors.

Acquired risk factors determined by the environment are determined outside human choice (passive) or due to specific behavior and active actions.

Some of these active behaviors are linked to work and exposures specifically linked to work in young and middle age are possible risk factors for aging related CNS diseases.

Epidemiological and laboratory studies suggest that environmental and occupation exposures years or decades before diagnosis can trigger the processes that ultimately result in a neurodegenerative disease. Most cases are now thought to arise from a combination of genetic risk factors and environmental influences.

Identifying specific chemicals is important to understanding disease pathogenesis, yet few studies investigated specific compounds. The quantification through biomarkers of occupational exposures is one of the challenges (Figure 1).

The effect of environmental contaminants on health is a major concern because over the last decades, several studies worldwide have shown how chemicals present in our environment can profoundly affect the aetiology of chronic diseases. Indeed, pesticides toxicity has been clearly demonstrated to alter neurological functions and numerous epidemiological studies have shown a relationship between pesticides exposure and the aetiology of neurodegenerative disease. The term pesticide includes herbicides, insecticides, fungicides, and rodenticides, and represents hundreds of chemicals with widely different structures and biologic effects.

Epidemiological results were found in some cases contradictory because there is considerable heterogeneity in results likely due to methodological differences, study de-

sign, control selection, differences in exposure assessment methods and diagnosis of patients. In this heterogeneous amount of studies pesticides are linked to occupational work in agriculture and have been constantly linked to Parkinson's disease and amyotrophic lateral sclerosis but recently also to Alzheimer's disease (AD).

Occupational exposure to pesticides compared with unexposed was associated with a relative risk of 2.29 (95% confidence interval [CI] 5 1.02–5.630) of developing AD in a cohort study of 1500 elderly participants (5). In another study of more than 17,000 patients living in southern Spain, the prevalence of AD was twice as high in those living in areas with high pesticide exposure compared with areas of low exposure (6).

Several studies have investigated associations of pesticide exposure and Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) risk (7-9). Although not all were significant, every study with at least five exposed subjects reported an increased risk of ALS, with ORs ranging from 1.4 to 6.5. In addition, other studies found an increased risk associated with agricultural work (10,11).

The research has also focused on associations between neurodegenerative disease and occupational exposure to organic solvents. Common solvent-containing products available for both industrial and residential use include adhesives and fixatives, paints, lacquers, degreasers, pharmaceuticals and agricultural products. Most routine exposures occur in occupational settings, with activities such as painting, construction, and furniture finishing; metal degreasing and finishing; mechanical and refrigeration sys-

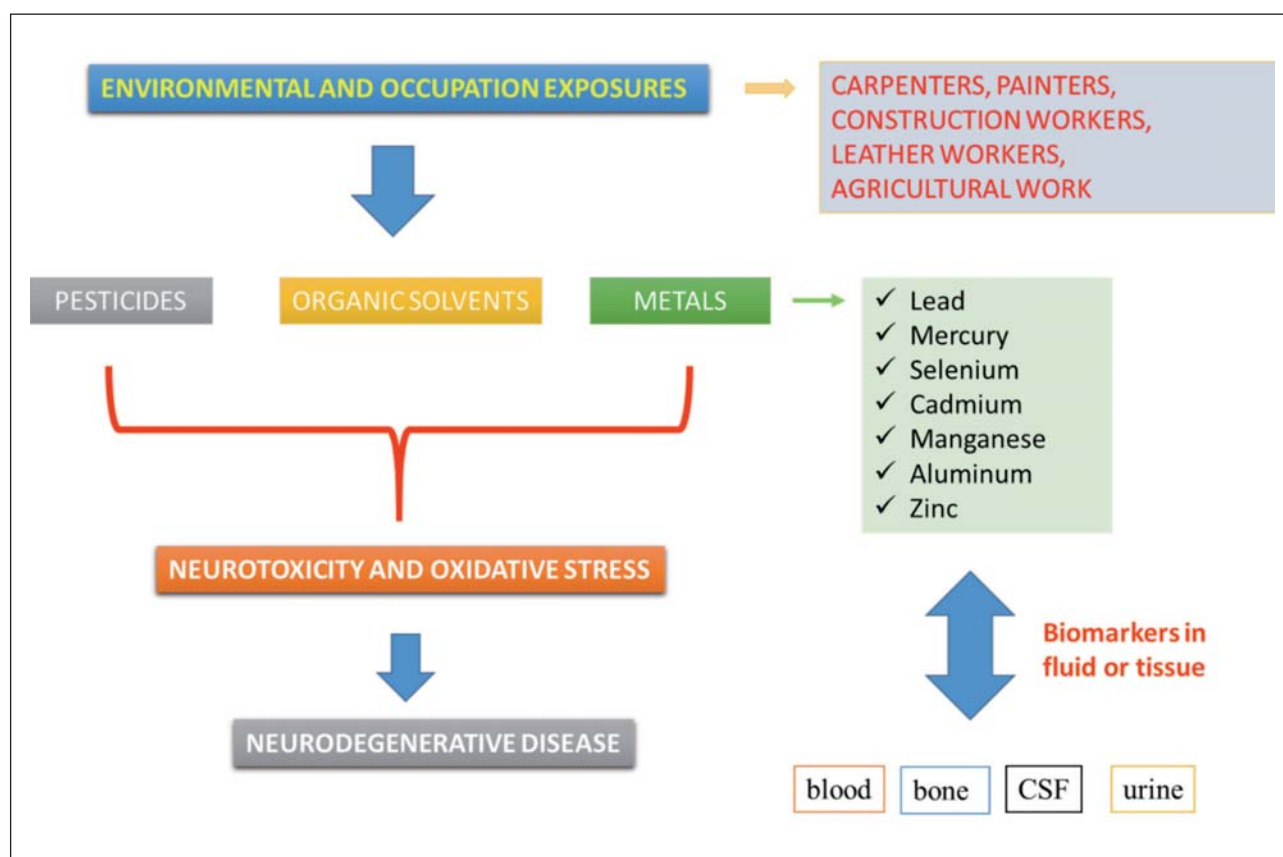


Figure 1. Biomarkers role in occupational epidemiology

tems maintenance; rubber, plastic, textile and leather production; and dry cleaning. Solvent exposures from these activities occur primarily through two routes, inhalation and cutaneous contact, both of which can be significant. Ingestion also occurs, typically from unintentional or accidental exposures. Neurotoxicity derived from exposure to these substances requires weeks to years and, in some cases, decades to produce cell dysfunction and cell death that result in detectable neurological alterations. The special sensitivity of the nervous system to toxicant exposures and shared mechanisms by which toxicants may act to disrupt neurological function are investigated. However, data interpretation is often difficult due to exposure to mixtures and variability of exposure levels between individuals.

Occupational exposure to organic solvents was found associated with an increased risk of Parkinson's Disease (PD) and in particular, researchers found a six-fold increase in the risk of developing Parkinson's in individuals exposed in the workplace to trichloroethylene (TCE). The risk of developing the disease increased significantly with the addition of two other solvents, perchloroethylene (PERC) and carbon tetrachloride (CCl₄). No statistical link was found with the other solvents examined in the study (toluene, xylene and hexane) (12,13).

Exposure to solvents and AD risk is less well studied. In one case-control study using incident cases of AD, exposure to one or more solvent groups was associated with an adjusted odds ratio (OR) of 2.3 (95% CI 1.1–4.7) (14). However, occupational exposure to solvents was not associated with AD in a meta-analysis analyzing case-control studies (15).

Some studies over several decades have assessed the association of solvents and ALS, with many finding an increased risk associated with self-reported solvent exposures (16–18) and/or occupations with likely exposure, such as carpenters, painters, construction workers, or leather workers (18–20). As with pesticides, however, most studies evaluated solvents as a general class, rather than specific agents.

One difficulty is that several of these neurodegenerative conditions (for example, Parkinson's disease) are not single disease entities but a heterogeneous group of clinically similar conditions. It may be that some individuals have solvent induced neurodegeneration but these are lost among the majority of sufferers whose condition is not due to solvents.

Ambient total suspended particles from traffic have been associated with an increased risk of PD (21). Post-mortem comparison of brains from persons living in high and low air pollution environments found ultrafine particulate matter in the olfactory bulbs and immunoreactivity to beta amyloid bA42 and/or alpha-synuclein in neurons, glial cells, and/or blood vessels of those living in high pollution areas (22). Pollution-induced inflammatory brain mechanisms were found also, suggesting that air pollution may be involved in the development of PD and/or dementia.

The role of metals in neurodegenerative disorders has been also considered. Overexposure to any of several

metal ions, including lead, mercury, selenium, cadmium, manganese, arsenic, copper, aluminum, and zinc, is known to be neurotoxic.

Some investigators have demonstrated higher levels of metals ions in the blood, bone, cerebrospinal fluid, urine of patients with ALS compared to controls (23), and aluminum was found in high concentrations in brain regions with many neurofibrillary tangles from AD patients (24,25).

Heavy metals have both acute and chronic effects. The chronic effects could be determined by low concentration in the soil, where the contamination last for many decades.

Many metals, like lead and manganese have been used for centuries while others compounds like polychlorinated biphenyl (PCB) is an organic chlorine compound, are relatively new in the industrial processing.

The entry routes in the human body are several: skin, lungs, gastro-intestinal system. The routes of elimination are several as well: skin, lungs, colon, and kidneys. The different compounds are prone to accumulate in different tissues if the elimination system does not properly work or the dose is too high. The excess that is not metabolized tend to accumulate in several tissues like fat, bone marrow, muscle, blood, liver. One of the main organ of deposit is the brain and the whole central nervous system.

In a whole field approach, using mortality data from 22 states in US for the years 1992–1998. Several specific occupations including pesticides, solvents, magnetic fields, and welding fumes were evaluated (20) the occupations hypothesized with these approach presented significant elevated mortality odds ratios (MOR) for the neurodegenerative diseases. Occupations with the largest MORs were (a) for young onset dementia dentists, graders/sorters (non-agricultural), and clergy; for Alzheimer's disease were bank tellers, clergy, aircraft mechanics, and hairdressers; for Parkinson's disease (PD) were biological scientists, clergy, religious workers, and post-secondary teachers; and) for motor neuron disease (MND)-veterinarians, hairdressers, and graders and sorters (non-agricultural). Teachers had significantly elevated MORs for all four diseases, and hairdressers were elevated for three of the four. Neurodegenerative disease risk was associated with many occupations, 60 Hz magnetic fields and welding. In a similar study conducted on death certificates in 27 states, several occupations were found associated with neurodegenerative disorders such as teachers, medical personnel and machine operators were identified. Clusters of three NDG diseases were identified in occupation involving electromagnetic fields, solvents and pesticides (26).

Similarly, a role of occupation was detected in a case control study conducted in the US Individual electrical occupations were associated more strongly with disease than overall electrical occupations. The risk was particularly high for amyotrophic lateral sclerosis, for which relative risks ranged from 2 to 5 across several job categories. The largest associations with all three diseases occurred for power plant operators (27).

The importance of magnetic field was indeed described as non relevant in a mortality study in the UK. In the period 1973–2010, the mortality was estimated a co-

Q: Does this compound target mechanisms and pathology involved in parkinsonism/IPD?

A: Mechanisms/ Bench science question

Q: Has this compound been associated with parkinsonism/IPD in populations?

A: Population association question

Q: Does the exposure to this compound produce parkinsonism/IPD?

A: Population causality question

Figure 2. Three questions in the area of Parkinson's diseases (PD) Occupational Epidemiology

hort of about seventy thousands employees of the Central Electricity Generating Board of England and Wales. All employees were hired in the period 1952-82. Detailed calculations had been performed by others to enable an assessment to be made of exposures to magnetic fields. No change in risk was revealed for the three main diseases neurodegenerative diseases as a consequence of exposure to magnetic fields (28).

The hypothesized mechanisms are different. Solvent and metals exposure play a role in the oxidative stress, mitochondrial toxicity and protein aggregation, and damage the cytoskeleton of long axons, resulting in a polyneuropathy (29,30), therefore the identification of markers of oxidative stress could be useful to distinguish normal biological processes from pathogenic one.

One of the challenges is the recognition and quantification of toxic exposure, especially because the exposure may last decades and the quantities involved may be small. Furthermore, occupational exposures to metals pesticides, organic solvents and electromagnetic fields are often mixed and difficult to determine the individual contribution (3). There are different layers of interconnected questions that can be answered in different settings with different study design (Figure 2).

The quality of toxic exposure identification especially over long period of time is really still inadequate. The use of both cohort and case control design both present problems when applied to the field of occupational epidemiology of neurodegenerative diseases.

Furthermore, there is need for experts in the field of pharmacology, neurosciences, clinical, chemistry, agrochemical companies, farmers and members of governmental regulatory agency to work together in the near future. The public health especially in the field of occupational epidemiology of NDG diseases needs an integrated approach that is recently renamed Convergence science. Convergence science is a transdisciplinary approach for

framing research questions (31). Reimagining population health as convergence science lancet 2018 392: 367-8. From 5 to 20% of cancers are probably based on occupational exposures. It is not unconceivable that we are in the same order for neurodegenerative diseases (3). Success in prevention in this as in other sectors will be possible only on new and strategic convergence across different domains from policies to basic science.

References

- 1) Jucker M, Walker LC. Self-propagation of pathogenic protein aggregates in neurodegenerative diseases. *Nature* 2013; 501(7465): 45-51.
- 2) Neurological diseases remain neglected and ignored. *Lancet* (London, England) 2012; 379(9813): 287.
- 3) Pearce N, Kromhout H. Neurodegenerative disease: the next occupational disease epidemic? *Occupational and environmental medicine* 2014; 71(9): 594-5.
- 4) Sevigny J, Chiao P, Bussiere T, et al. The antibody aducanumab reduces Abeta plaques in Alzheimer's disease. *Nature* 2016; 537(7618): 50-6.
- 5) Baldi I, Lebailly P, Mohammed-Brahim B, et al. Neurodegenerative diseases and exposure to pesticides in the elderly. *American journal of epidemiology* 2003; 157(5): 409-14.
- 6) Parron T, Requena M, Hernandez AF, et al. Association between environmental exposure to pesticides and neurodegenerative diseases. *Toxicology and applied pharmacology* 2011; 256(3): 379-85.
- 7) Weisskopf MG, Morozova N, O'Reilly EJ, et al. Prospective study of chemical exposures and amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 2009; 80(5): 558-61.
- 8) Kamel F, Umbach DM, Bedlack RS, et al. Pesticide exposure and amyotrophic lateral sclerosis. *Neurotoxicology* 2012; 33(3): 457-62.
- 9) Malek AM, Barchowsky A, Bowser R, et al. Environmental and occupational risk factors for amyotrophic lateral sclerosis: a case-control study. *Neuro-degenerative diseases* 2014; 14(1): 31-8.
- 10) Gunnarsson LG, Lindberg G, Soderfeldt B, et al. Amyotrophic lateral sclerosis in Sweden in relation to occupation. *Acta neurologica Scandinavica* 1991; 83(6): 394-8.
- 11) Granieri E, Carreras M, Tola R, et al. Motor neuron disease in the province of Ferrara, Italy, in 1964-1982. *Neurology* 1988; 38(10): 1604-8.

- 12) Gash DM, Rutland K, Hudson NL, et al. Trichloroethylene: Parkinsonism and complex 1 mitochondrial neurotoxicity. *Annals of neurology* 2008; 63(2): 184-92.
- 13) Goldman SM, Quinlan PJ, Ross GW, et al. Solvent exposures and Parkinson disease risk in twins. *Annals of neurology* 2012; 71(6): 776-84.
- 14) Kukull WA, Larson EB, Bowen JD, et al. Solvent exposure as a risk factor for Alzheimer's disease: a case-control study. *American journal of epidemiology* 1995; 141(11): 1059-71; discussion 72-9.
- 15) Graves AB, van Duijn CM, Chandra V, et al. Occupational exposures to solvents and lead as risk factors for Alzheimer's disease: a collaborative re-analysis of case-control studies. *EURODEM Risk Factors Research Group. International journal of epidemiology* 1991; 20 Suppl 2: S58-61.
- 16) Gunnarsson LG, Bodin L, Soderfeldt B, et al. A case-control study of motor neurone disease: its relation to heritability, and occupational exposures, particularly to solvents. *British journal of industrial medicine* 1992; 49(11): 791-8.
- 17) Chancellor AM, Slaterry JM, Fraser H, et al. Risk factors for motor neuron disease: a case-control study based on patients from the Scottish Motor Neuron Disease Register. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 1993; 56(11): 1200-6.
- 18) Morahan JM, Pamphlett R. Amyotrophic lateral sclerosis and exposure to environmental toxins: an Australian case-control study. *Neuroepidemiology* 2006; 27(3): 130-5.
- 19) Fang F, Quinlan P, Ye W, et al. Workplace exposures and the risk of amyotrophic lateral sclerosis. *Environmental health perspectives* 2009; 117(9): 1387-92.
- 20) Park RM, Schulte PA, Bowman JD, et al. Potential occupational risks for neurodegenerative diseases. *American journal of industrial medicine* 2005; 48(1): 63-77.
- 21) Finkelstein MM, Jerrett M. A study of the relationships between Parkinson's disease and markers of traffic-derived and environmental manganese air pollution in two Canadian cities. *Environmental research* 2007; 104(3): 420-32.
- 22) Calderon-Garciduenas L, Franco-Lira M, Mora-Tiscareno A, et al. Early Alzheimer's and Parkinson's disease pathology in urban children: Friend versus Foe responses—it is time to face the evidence. *BioMed research international* 2013; 2013: 161687.
- 23) Callaghan B, Feldman D, Gruis K, et al. The association of exposure to lead, mercury, and selenium and the development of amyotrophic lateral sclerosis and the epigenetic implications. *Neuro-degenerative diseases* 2011; 8(1-2): 1-8.
- 24) Crapper DR, Krishnan SS, Dalton AJ. Brain aluminum distribution in Alzheimer's disease and experimental neurofibrillary degeneration. *Science (New York, NY)* 1973; 180(4085): 511-3.
- 25) Perl DP, Moalem S. Aluminum and Alzheimer's disease, a personal perspective after 25 years. *Journal of Alzheimer's disease : JAD* 2006; 9(3 Suppl): 291-300.
- 26) Schulte PA, Burnett CA, Boeniger MF, et al. Neurodegenerative diseases: occupational occurrence and potential risk factors, 1982 through 1991. *American journal of public health* 1996; 86(9): 1281-8.
- 27) Savitz DA, Loomis DP, Tse CK. Electrical occupations and neurodegenerative disease: analysis of U.S. mortality data. *Archives of environmental health* 1998; 53(1): 71-4.
- 28) Sorahan T, Mohammed N. Neurodegenerative disease and magnetic field exposure in UK electricity supply workers. *Occupational medicine (Oxford, England)* 2014; 64(6): 454-60.
- 29) Ritchie GD, Still KR, Alexander WK, et al. A review of the neurotoxicity risk of selected hydrocarbon fuels. *Journal of toxicology and environmental health Part B, Critical reviews* 2001; 4(3): 223-312.
- 30) Liu Z, Zhou T, Ziegler AC, et al. Oxidative Stress in Neurodegenerative Diseases: From Molecular Mechanisms to Clinical Applications. *Oxidative medicine and cellular longevity* 2017; 2017: 2525967.
- 31) Dzau VJ. BCA. Reimagining population health as convergence science. *The Lancet* 2018; 392 (10145): 367-8.

Correspondence: Giancarlo Logroscino, MD, PhD - Center for Neurodegenerative Diseases and the Aging Brain, Department of Clinical Research in Neurology, University of Bari "Aldo Moro" / Pia Fondazione di Culto e Religione "Card. G. Panico", Tricase, Lecce, Italy, Tel. +39 0833/773904, Fax +39 0833 1830670, E-mail: giancarlo.logroscino@uniba.it

Natasha Scialpi¹, Moris Sanguinetti¹, Marilidia Piglionica¹, Luigi De Maria², Piero Lovreglio²,
Luigi Vimercati², Carlo Sabbà¹, Leonardo Soleo², Antonio Moschetta¹

Sindrome metabolica e lavoro

¹ Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Clinica Medica "C. Frugoni", Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Italia

² Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Italia

RIASSUNTO. I ritmi circadiani sono variazioni cicliche endogene regolate da un pacemaker sito nel nucleo soprachiasmatico (SCN) dell'ipotalamo, che consentono fluttuazioni quotidiane delle attività biochimiche, fisiologiche e comportamentali. Grazie a studi condotti sui roditori, tuttavia, si è visto che il meccanismo molecolare che controlla l'attività circadiana è espresso non solo nel SNC, ma anche in quasi tutti i tessuti periferici. Diversi ormoni presentano oscillazioni su base circadiana, e mostrano un rilascio regolato da stimoli ambientali quali l'alimentazione e i cicli luce-buio. In un recente studio si è visto come abitudini dietetiche diverse determinino una variabile espressione genica nei tessuti periferici che è possibile studiare tramite le variazioni dell'espressione genica nelle cellule mononucleate del sangue (PBM). Scopo del nostro studio è quello di indagare le variazioni di espressione genica nei PBMCs di operatori sanitari classificati in base al tipo di turnazione lavorativa ed esposizione professionale a radiazioni ionizzanti al fine di individuare nuovi markers circolanti associati ad alterazioni metaboliche dovute a condizioni lavorative che determinano variazioni nel ritmo circadiano. Sono stati raccolti i dati anamnestici ed antropometrici di oltre 100 operatori sanitari reclutati con criterio random. Tutti i soggetti sono stati sottoposti ad un prelievo ematico per la determinazione degli indici biochimico-sierici e per l'isolamento dei PBMCs. I dati preliminari suggeriscono una possibile associazione tra lavoro a turni e notturno e/o radioesposizione e la presenza di steatosi epatica. Ulteriori dati saranno ricavati dalle successive analisi di espressione genica.

Parole chiave: ritmi circadiani, sindrome metabolica, espressione genica, lavoro.

ABSTRACT. METABOLIC SYNDROME AND WORK. *Circadian rhythms are endogenous fluctuations modulated by a pacemaker entity located in the suprachiasmatic nucleus (SCN) of the ventral hypothalamus that allows daily fluctuations in biochemical, physiological, and behavioral activities. The molecular machinery that controls the circadian activity is expressed not only in the SCN, but also in several peripheral tissues. Several hormones were shown to have daily oscillations, and the so-called nutrient-sensitive hormones, namely insulin, leptin, ghrelin and adiponectin also oscillate on a circadian basis, and their release is, at least partially, regulated by environmental stimuli, such as feeding time and light-dark cycles. In a recent study designed to test the impact of different dietary habits on the human clock, it was found that a change in the dietary habits can alter the gene expression peripherally, as measured by gene expression in circulating monocytes (PBMCs). Therefore, we decided to investigate the gene expression variation in PBMCs of health care workers, in order to identify*

I ritmi circadiani sono fluttuazioni endogene regolate da un *pacemaker* sincronizzato da segnali ambientali, che consentono quindi, fluttuazioni quotidiane delle attività biochimiche, fisiologiche e comportamentali.

La ritmicità biologica è presente in tutti i tipi di cellule e organismi. A seconda del periodo di oscillazione, i ritmi circadiani sono classificati come ultradiani (meno di 24 ore, per esempio, i flussi ionici nelle membrane), infradiani (più di 24 ore, ad esempio eventi di marea e annuali) e circadiani (circa 24 ore) (1). In particolare, il "*timing system*" nei mammiferi è costituito da una serie di oscillatori periferici coordinati, che agiscono sotto il controllo di un pacemaker principale situato nell'ipotalamo ventrale e noto come nucleo soprachiasmatico (SCN) (2).

Il "core" dell'orologio molecolare è costituito da un insieme di geni specializzati, noti come "*clock genes*", raggruppati in tre diversi "*feedback loops*" (Figura 1): 1) il ciclo a feedback positivo composto dal *clock gene* costitutivo e dal gene *baml1* (*Brain and muscle ARNT-like 1*), i cui prodotti di traduzione formano un dimero nel nucleo della cellula che riconosce le regioni di promotori specializzati, note come "*E-box*", e di altri *clock genes* come *per1* (*period circadian protein homolog 1*), *per2* (*period circadian protein homolog 2*), *cry1* (*Cryptochrome Circadian Regulator 1*), *cry2* (*Cryptochrome Circadian Regulator 2*), *rev-erbα* (*NR1D1, nuclear receptor subfamily 1, group D, member 1*) e *roraα* (*RAR-related orphan receptors alpha*), facilitando la loro trascrizione (la maggior parte dei geni sotto regolazione circadiana contiene promotori con E-box); 2) il ciclo a feedback negativo formato da *per1* / *per2* e *cry1* / *cry2*, le cui proteine corrispondenti formano un eterodimero in seguito a fosforilazione ad opera della *casein chinasi 1 epsilon / delta* (*CK1ε / δ*). L'eterodimero entra nel nucleo per inibire la propria trascrizione, così come la trascrizione degli altri *clock genes*; 3) il ciclo di feedback accessorio di proteine codificate da *rev-erbα* e *roraα*, che entrano nel nucleo dove agiscono sugli elementi di risposta retinoica (*RRE*), sia come inibitore trascrizionale (*REV-ERBα*) che come attivatore (*RORα*) della trascrizione di *BMAL1* (3).

Il meccanismo molecolare che controlla l'attività circadiana è espresso non solo nel SCN, ma anche in quasi tutti i tessuti periferici, come dimostrato in alcuni esperimenti condotti su roditori. Tali ritmi periferici dipendono tuttavia dall'attività del pacemaker centrale poiché, in

new circulating biomarkers of metabolic alterations caused by specific work conditions. During our health surveillance we enrolled more than 100 workers and categorizing them for night-shift and radio-exposure conditions. Anamnestic and anthropometric data, serum biochemical indices and whole blood for PBMSCs isolation were collected. The preliminary data suggest a feasible relationship of night shift condition and/or radio-exposure with hepatic steatosis. Therefore, further investigations will be performed by gene expression profiling.

Key words: circadian rhythms, metabolic syndrome, gene expression, work.

vitro, si attenuano fino a bloccarsi dopo 2-7 cicli nel fegato, nei polmoni e nei muscoli scheletrici, in assenza del contributo del SCN (5).

Studi successivi hanno descritto come i tessuti periferici isolati siano in grado di sostenere autonomamente una periodicità circadiana per oltre 20 cicli. Infatti, gli organi periferici mostrano differenze tessuto-specifiche nel ritmo e nella fase circadiana e, le lesioni del SCN, non resettano la ritmicità circadiana, ma desincronizzano solo i tessuti periferici. Pertanto, gli organi periferici esprimono almeno un oscillatore circadiano parzialmente autonomo (6). Tale comportamento circadiano è stato osservato anche in vitro in diversi tipi di cellule (7) e in espianti di tessuto da quasi

tutti gli organi (8). È interessante notare che il cervello stesso possiede la propria oscillazione circadiana nell'espressione di diversi geni che sembra essere indipendente dall'attività del SCN (9).

È stato dimostrato che diversi ormoni presentano oscillazioni giornaliere e, tra questi, i principali sono la melatonina, il cortisolo, gli steroidi gonadici, la prolattina, l'ormone tiroideo e l'ormone della crescita (GH). I cosiddetti ormoni sensibili ai nutrienti, cioè insulina, leptina, grelina e adiponectina oscillano anche su base circadiana e, il loro rilascio, è almeno in parte regolato da stimoli ambientali, come alimentazione e cicli luce-buio (10).

La comprensione dell'influenza dell'orologio circadiano sulla regolazione del metabolismo è notevolmente migliorata, ma il numero di geni controllati dall'orologio molecolare è ampio.

Un ruolo centrale è stato attribuito a *SIRT1*, un membro della famiglia delle deacetilasi *SIRT* (11). *SIRT1* modula l'espressione ritmica di numerosi geni controllati dai ritmi circadiani (12). La mancata espressione o l'inibizione farmacologica di *SIRT1* desincronizza il ciclo circadiano: quindi *SIRT1* potrebbe svolgere un ruolo centrale nel controllo dell'orologio circadiano, percependo le alterazioni dei metaboliti a livello cellulare (13).

L'*AMPK* è un complesso multiproteico che svolge un ruolo centrale nella regolazione del metabolismo come sti-

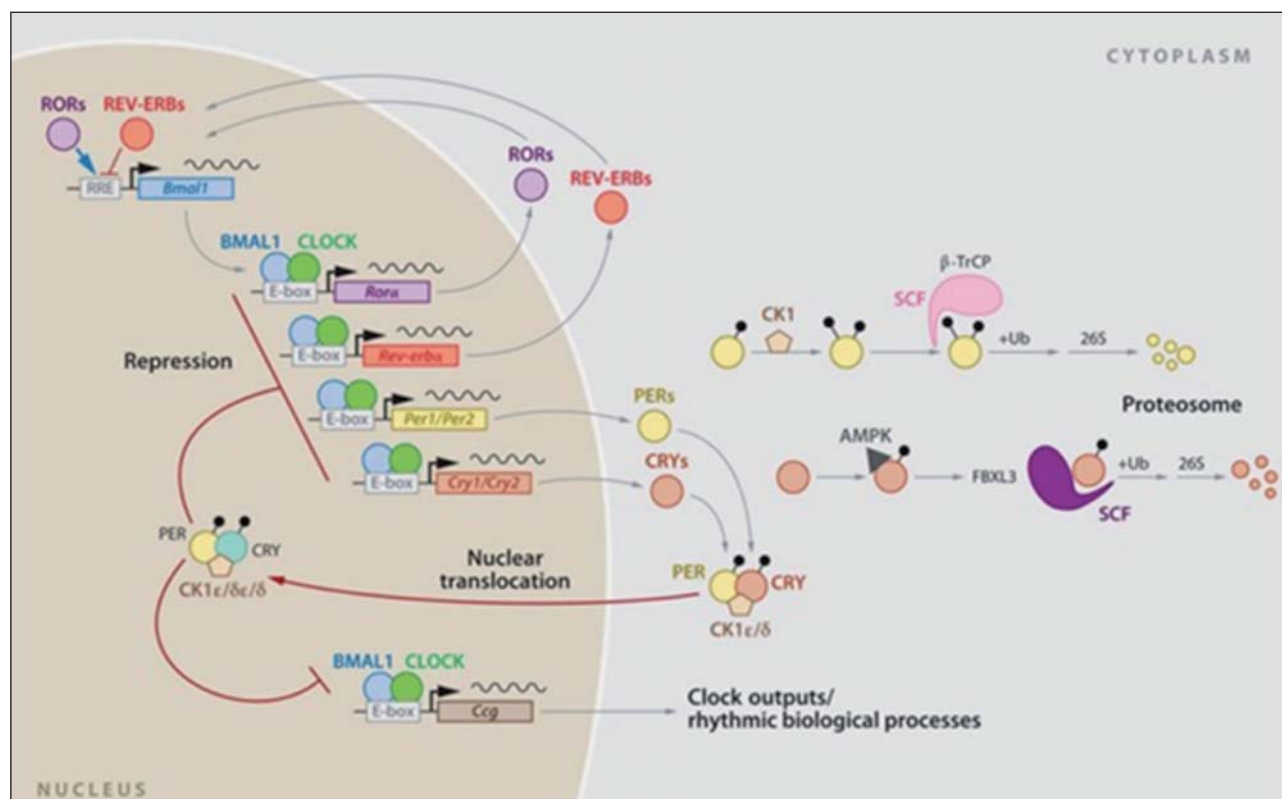


Figura 1. Meccanismo molecolare dell'orologio circadiano nei mammiferi. Differenti feedback loops inducono sia la trascrizione che l'inibizione dei clock genes. Il ciclo di feedback positivo è regolato da CLOCK e BMAL1, mentre il ciclo di feedback negativo è regolato da PER1 / PER2 e CRY1 / CRY2. La regolazione delle proteine dell'orologio circadiano è data da meccanismi post-traduzionali come la fosforilazione da parte della chinasi caseina chinasi 1 ϵ / δ (CK1 ϵ / δ), della proteina chinasi attivata da adenosina monofosfato (AMPK) e da SCF (scatola Skp1-Cullin-F proteina), da complessi di ubiquitinazione E3 che coinvolgono β -TrCP e FBXL3. Ub (ubiquitinazione), 26S (complesso del proteasoma 26S), RRE (elemento di risposta retinoico), ROR (recettori orfani retinoici), Ccg (geni controllati dall'orologio). Tratto da (4).

molatore delle pathways cataboliche e inibitore di quelle anaboliche. Una delle sue subunità regolatorie, *ampk β 2*, è espressa con ritmicità circadiana, il che si traduce in una traslocazione periodica nel nucleo, dove fosforila direttamente *CRY1* in associazione con la chinasi *LKB*. Questa fosforilazione determina la degradazione del proteasoma *CRY1* (14) (10).

BMAL1 e *CLOCK* sono molto importanti per la regolazione dell'omeostasi del glucosio e dei trigliceridi. La gluconeogenesi, per esempio, è inibita dalla delezione di *Bmal1* e ridotta nei mutanti *Clock*. Inoltre, una dieta ad alto contenuto di grassi è in grado di ampliare le oscillazioni circadiane nella sensibilità all'insulina e nella tolleranza al glucosio (15). L'orologio circadiano, inoltre, controlla anche la gluconeogenesi epatica, che durante il digiuno è avviata dalla fosforilazione *cAMP*-mediata, della proteina di legame degli elementi di risposta all'*cAMP* (*CREB*). L'attività di *CREB* è regolata durante il digiuno da *Cry1* e *Cry2*. L'espressione di *Cry1* è elevata durante la transizione notturna, quando a digiuno, riduce l'espressione del gene della gluconeogenesi, inibendo l'aumento mediato dal glucagone nelle concentrazioni di *cAMP* intracellulare e la fosforilazione mediata dalla protein-chinasi di *CREB*. Poiché la over espressione epatica di *Cry1* riduce la concentrazione di glucosio nel sangue e migliora

la sensibilità all'insulina nei topi insulino-resistenti, gli *enhancers* dell'attività molecolare dei criptocromi potrebbero essere considerati come agenti terapeutici utili per il diabete di tipo 2 (16).

L'associazione tra orologio circadiano e metabolismo è stata ulteriormente confermata da studi che hanno dimostrato che il fattore di trascrizione maggiormente controllato dal punto di vista metabolico *REV-ERB α* è fondamentale per la sincronizzazione dell'orologio circadiano (17). Gli agonisti sintetici di *REV-ERB α* sono stati infatti proposti come regolatori positivi per le malattie metaboliche. Nei topi trattati con gli agonisti sintetici di *REV-ERB*, l'espressione circadiana dei geni metabolici nel fegato, nei muscoli scheletrici e nel tessuto adiposo è stata modificata, portando ad un aumento del dispendio energetico. Infatti, topi obesi trattati con agonisti di *REV-ERB* hanno mostrato una diminuzione della massa grassa e una migliore iperglicemia e dislipidemia (18).

Una varietà di studi ha indagato su come specifici componenti della dieta possono modulare l'attività dell'orologio circadiano. Le diete variano sostanzialmente nel tipo e nella quantità di macro e micronutrienti che possono essere usati come *zeitgebers* per l'orologio (Figura 2) (19).

In uno studio progettato per testare l'impatto di una dieta a basso contenuto di carboidrati / alto contenuto di

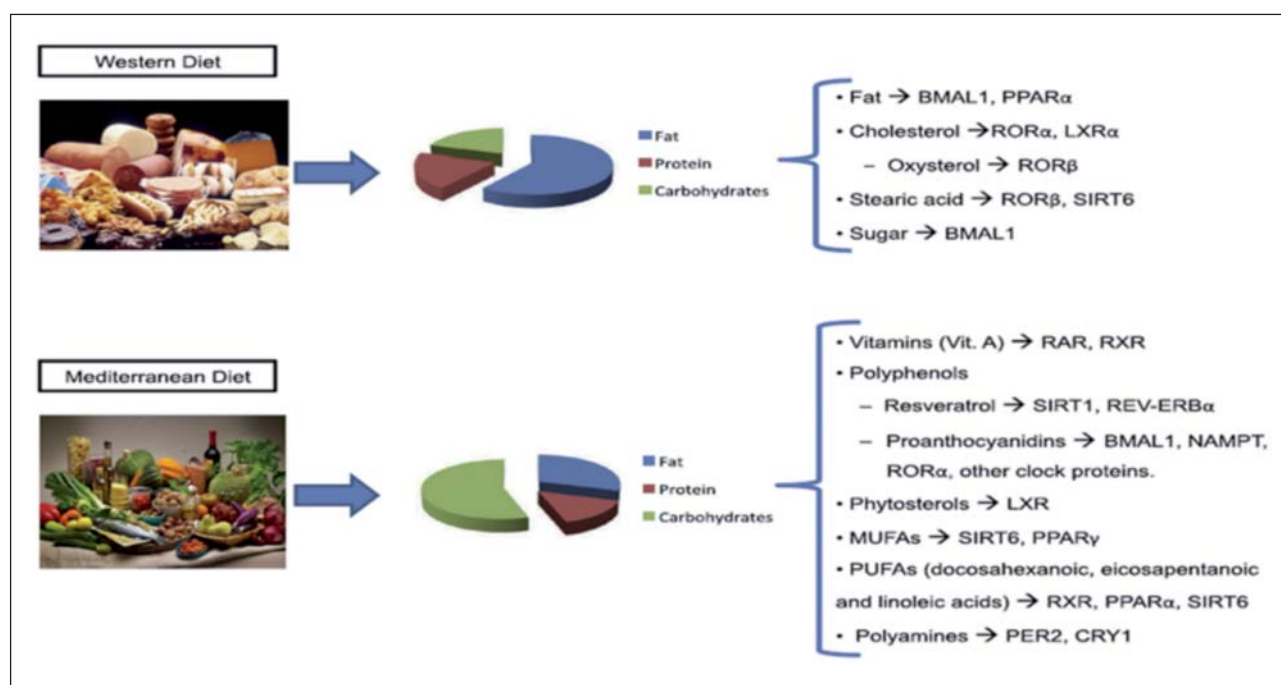


Figura 2. La composizione della dieta produce diversi *zeitgeber* per l'orologio. Prodotti alimentari tipici della cosiddetta "dieta occidentale", generalmente costituita da cibi ad alto contenuto di grassi saturi combinati con un alto contenuto di zucchero e, prodotti alimentari tipici della cosiddetta "dieta mediterranea", che è costituita da una percentuale più elevata di verdure e alimenti principalmente ricchi di grassi mono e polinsaturi. Ognuna di queste diete produce macromolecole e metaboliti noti per funzionare come *zeitgebers* per l'orologio circadiano in vari tipi di tessuti e cellule. Mentre i lipidi e il colesterolo sono noti per modulare PPAR γ , ROR α , LXR e ROR β , i grassi (in particolare quelli che influenzano la sensibilità all'insulina nel tempo) e l'alta glicemia probabilmente modulano l'attività di BMAL1 in modo dipendente da GSK3 β . È stato osservato che l'acido stearico modula la proteina SIRT6 (che si lega direttamente a CLOCK: BMAL1). Diverse diete, portano ad un aumento dei "clock *zeitgebers*" tra cui vitamina A (nota per attivare RAR e RXR), polifenoli come il resveratolo (attivatore di SIRT1) e proantocianidine (regolatori o modulatori di Bmal1, Nampt e molti altri geni di clock). Ulteriori ligandi o modulatori delle proteine correlate all'orologio circadiano o ai recettori nucleari della ritmicità includono poliammine (regolatori del PER2: complesso CRY1), MUFA e PUFA (modulatori di SIRT6, PPAR γ , RXR e PPAR α) e fitosteroli (modulatori di LXR) (19).

grassi, rispetto ad una dieta con basso contenuto di grassi / alto contenuto di carboidrati, sull'orologio circadiano umano, si è constatato che il passaggio da una dieta a basso contenuto di carboidrati / alto contenuto di grassi, ad una dieta ricca di grassi / basso contenuto di carboidrati causa un ritardo di fase nei livelli di cortisolo salivare (indicativo di un periodo centrale più lungo) e, un'alterata espressione genica a livello periferico, come misurato attraverso l'espressione genica nei monociti circolanti (20).

In effetti, alcuni studi hanno dimostrato che i componenti funzionali dell'orologio possono essere misurati anche a livello delle cellule mononucleate del sangue (PBMC) e, quindi, possono svolgere un ruolo definito nel controllo fisiologico del sistema immunitario circadiano. In questo studio è stato dimostrato che vi è una significativa fluttuazione dei livelli di mRNA di *hPer* attraverso la fase circadiana nei PBMC umani (21). È stato dimostrato anche che l'espressione di *hPer2* nei PBMC è significativamente diversa al mattino e alla sera, che l'oscillazione circadiana che osserviamo non è spiegata dall'alterazione dell'esposizione alla luce, all'assunzione di cibo o allo stress, ma l'oscillazione dei geni clock nei PBMC è presente anche in assenza di episodi di sonno / oscurità, un'osservazione che supporta la sua natura endogena (22).

Pertanto, abbiamo deciso di indagare le variazioni di espressione genica a livello dei PBMCs di operatori sanitari al fine di individuare nuovi markers circolanti associati ad alterazioni metaboliche dovute a condizioni lavorative di variazioni del ritmo circadiano.

Nel corso della sorveglianza sanitaria espletata nel periodo aprile 2016 - novembre 2017, sono stati reclutati con criterio random oltre 100 operatori sanitari tra infermieri e dirigenti medici, tenendo in considerazione le condizioni di turnista e radioesposto. Sono stati raccolti dati anamnestici, antropometrici, indici biochimici-sierici e sangue intero per l'isolamento dei PBMCs. I dati preliminari suggeriscono che possa esistere una relazione tra le condizioni di turnista e/o radioesposizione con la presenza di steatosi epatica. Ulteriori dati saranno ricavati dalle successive analisi di espressione genica.

Bibliografia

- 1) Dunlap JC, Loros, DeCoursey PJ. Chronobiology: Biological Timekeeping. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA, USA. 2009.
- 2) Arellanes-Licea E, Caldelas I, De Ita-Pérez, et al. The circadian timing system: a recent addition in the physiological mechanisms underlying pathological and aging processes. *M Aging Dis* 2014 Jan 9;5(6):406-18. doi: 10.14336/AD.2014.0500406. eCollection 2014 Dec. Review. PMID: 25489492
- 3) Reppert SM, Weaver DR. Coordination of circadian timing in mammals. *Nature* 2002; 418: 935-941.
- 4) Mohawk JA, Green CB, Takahashi JS. Central and peripheral circadian clocks in mammals. *Annu Rev Neurosci* 2012; 35:445-462.

- 5) Yoo SH, Yamazaki S, Lowrey PL, et al. PERIOD2::LUCIFERASE real-time reporting of circadian dynamics reveals persistent circadian oscillations in mouse peripheral tissues. *Proc Natl Acad Sci USA* 2004; 101: 5339-5346.
- 6) Balsalobre A, Damiola F, Schibler U. A serum shock induces circadian gene expression in mammalian tissue culture cells. *Cell* 1998; 93: 929-937.
- 7) Brown SA, Fleury-Olela F, Nagoshi E, et al. The period length of fibroblast circadian gene expression varies widely among human individuals. *PLoS Biol* 2005; 3: e338. (Yagita K, Tamanini F, van Der Horst GT, Okamura H. Molecular mechanisms of the biological clock in cultured fibroblasts. *Science* 2001; 292: 278-281.
- 8) Balsalobre A, Damiola F, Schibler U. A serum shock induces circadian gene expression in mammalian tissue culture cells. *Cell* 1998, 93, 929-937. Granados-Fuentes D, Saxena MT, Prolo LM, Aton SJ, Herzog ED. Olfactory bulb neurons express functional, entrainable circadian rhythms. *Eur J Neurosci* 2004; 19: 898-906.
- 9) Granados-Fuentes D, Prolo L.M, Abraham U, et al. The suprachiasmatic nucleus entrains, but does not sustain, circadian rhythmicity in the olfactory bulb. *J Neurosci* 2004; 24: 615-619. Granados-Fuentes D, Tseng A, Herzog ED. A circadian clock in the olfactory bulb controls olfactory responsivity. *J Neurosci* 2006; 26: 12219-12225.
- 10) Gnocchi D, Bruscalupi G. Circadian Rhythms and Hormonal Homeostasis: Pathophysiological Implications. *Biology (Basel)* 2017 Feb 4; 6(1): pii: E10. doi: 10.3390/biology6010010. Review. PMID:28165421
- 11) Chalkiadaki A, Guarente L, Sirtuins. Mediate mammalian metabolic responses to nutrient availability. *Nat Rev Endocrinol* 2012; 8: 287-296.
- 12) Belden WJ, Dunlap JC. SIRT1 is a circadian deacetylase for core clock components. *Cell* 2008; 134: 212-214.
- 13) Nakahata Y, Kaluzova M, Grimaldi B, et al. The NAD⁺-dependent deacetylase SIRT1 modulates CLOCK-mediated chromatin remodeling and circadian control. *Cell* 2008; 134: 329-340.
- 14) Lamia KA, Sachdeva UM, DiTacchio L, et al. AMPK regulates the circadian clock by cryptochrome phosphorylation and degradation. *Science* 2009; 326: 437-440.
- 15) Rudic RD, McNamara P, Curtis AM, et al. Two essential components of the circadian clock, are involved in glucose homeostasis. *PLoS Biol* 2004; 2: e377.
- 16) Zhang E.E, Liu Y, Dentin R, et al. Cryptochrome mediates circadian regulation of cAMP signaling and hepatic gluconeogenesis. *Nat Med* 2010, 16, 1152-1156.
- 17) Yin L, Wu N, Curtin JC, et al. Rev-erbalpha, a heme sensor that coordinates metabolic and circadian pathways. *Science* 2007; 318: 1786-1789.
- 18) Solt LA, Wang Y, Banerjee, et al. Regulation of circadian behaviour and metabolism by synthetic REV-ERB agonists. *Nature* 2012; 485: 62-68.
- 19) Ribas-Latre A, Eckel-Mahan K. Interdependence of nutrient metabolism and the circadian clock system: Importance for metabolic health. *Mol Metab* 2016 Jan 14; 5(3): 133-152.
- 20) Pivovarova O, Jürchott K, Rudovich N, et al. Changes of Dietary Fat and Carbohydrate Content Alter Central and Peripheral Clock in Humans. *J Clin Endocrinol Metab J Clin Endocrinol Metab* 2015 Jun; 100(6): 2291-302.
- 21) Boivin DB, James FO, Wu A, et al. Circadian clock genes oscillate in human peripheral blood mononuclear cells. *Blood* 2003 Dec 1; 102(12): 4143-5. Epub 2003 Jul 31.
- 22) Takata M, Burioka N, Ohdo S, et al. Daily expression of mRNAs for the mammalian Clock genes *Per2* and *clock* in mouse suprachiasmatic nuclei and liver and human peripheral blood mononuclear cells. *Jpn J Pharmacol* 2002 Nov; 90(3): 263-9.

Corrispondenza: Luigi Vimercati, Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Sezione di Medicina del Lavoro 'B. Ramazzini', Università di Bari Aldo Moro, Policlinico, Piazza Giulio Cesare 11, 70124 Bari, Italy, Tel. ++390805478216, E-mail: luigi.vimercati@uniba.it

Salvatore Caputo

Diabete e lavoro

Istituto di Medicina Interna e Geriatria Facoltà di Medicina e Chirurgia, Università Cattolica del Sacro Cuore - Dipartimento Scienze Gastroenterologiche, endocrino-metaboliche e nefro-urologiche, Area Endocrino-Metabolica e Dermo-Reumatologica, UOSA Diabetologia, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli, Roma, Italia

RIASSUNTO. Il diabete mellito è una sindrome caratterizzata da una condizione di iperglicemia cronica spesso associata a complicanze d'organo. La prevalenza della patologia nella fascia d'età compresa tra i 20 e i 79 anni si colloca intorno al 9%.

Il diabete mellito ben compensato non è un ostacolo per l'inserimento nel mondo del lavoro e non implica una riduzione della capacità lavorativa. Nel caso in cui ci fossero frequenti manifestazioni acute di scompenso o in cui sorgessero le classiche complicanze croniche della malattia come la retinopatia, la nefropatia, la neuropatia o le malattie cardiovascolari, il giudizio di idoneità dovrà essere visto in funzione della mansione e delle condizioni psico-fisiche del lavoratore al fine di una corretta tutela della salute.

Parole chiave: diabete mellito, lavoro, complicanze.

ABSTRACT. Diabetes mellitus is a syndrome characterized by a condition of chronic hyperglycemia that may be complicated by organ damage. In the age group ranging from 20 to 79 years the prevalence of the disease is around 9%. Compensated diabetes mellitus does not prevent the possibility of working and does not imply a reduction in work capacity. In case of acute manifestations, poor compensation or chronic complications such as retinopathy, nephropathy, neuropathy or cardiovascular disease, the assessment of fitness for work must be established according to the task and the psycho-physical conditions of the worker in order to protect his health.

Key words: diabetes mellitus, work, complications.

Il diabete mellito è una sindrome caratterizzata da “una condizione di iperglicemia cronica” spesso associata a complicanze d'organo a carico dei piccoli vasi e dei nervi e/o ad un rischio aumentato di aterosclerosi con peculiari caratteristiche epidemiologiche e cliniche”.

In base alle rilevazioni ISTAT nel 2016 il 5,3% della popolazione italiana riferisce di essere diabetico. Tuttavia valutazioni eseguite su campioni più limitati (Osservatorio ARNO 2017 che comprende poco più di 10 milioni di cittadini italiani), ma ottenute confrontando i dati delle esenzioni per patologia, l'uso dei farmaci ed i ricoveri ospedalieri con diagnosi di diabete evidenziano come sia affetto da diabete il 6,3% della popolazione. Queste prevalenze o stime di prevalenza riferite all'intera popolazione possono fornire una percezione fuorviante. Infatti pur essendo il diabete mellito la patologia cronica più diffusa in età pediatrica, essa colpisce fra 15.000 e 20.000 soggetti, con una prevalenza notevolmente più bassa rispetto a quella della popolazione generale. Ne consegue che la prevalenza della patologia nella fascia d'età che va dai 20 ai 79 anni si colloca intorno al 9%.

I criteri diagnostici attualmente utilizzati per la diagnosi sono una glicemia a digiuno ≥ 126 mg/dl oppure una glicemia alla seconda ora della curva da carico di glucosio di $75 \text{ gr} \geq 200$ mg/dl oppure un'emoglobina glicata (HbA_{1c}) $\geq 6,5\%$ o 48 mmol/mol. Tutti questi criteri necessitano di essere confermati con una seconda determinazione. Soltanto in presenza dei sintomi classici del diabete (poliuria, polidipsia e perdita ponderale) può essere considerata diagnostica una glicemia occasionale (*random*) ≥ 200 mg/dl senza necessità di una seconda determinazione. Tutti i dosaggi della glicemia devono essere effettuati su plasma venoso. L'uso dei glucometri con l'utilizzo di sangue capillare per la diagnosi di diabete non è assolutamente attendibile. Infine il dosaggio della glicemia postprandiale, dell'insulinemia e del peptide C non hanno alcun ruolo nella diagnosi di diabete.

Concorrono nella genesi e nella gravità di questa condizione di iperglicemia cronica un deficit quantitativo o qualitativo della secrezione insulinica ed un variabile grado di insulino resistenza. È ormai assodato che un'insulino resistenza, anche se molto grave, fin quando si associa ad un'ipersecrezione insulinica compensatoria non determina un innalzamento dei valori di glicemia. Al contrario una riduzione della secrezione insulinica porta ine-

vitabilmente al rialzo dei valori glicemici, quale che sia il livello di insulino resistenza.

I meccanismi patogenetici che portano al danno della secrezione insulinica sono molteplici e possono essere così riassunti: 1) Patogenesi autoimmune che porta alla distruzione delle β cellule con un'aggressione da parte del sistema immunitario e che si associa alla produzione di svariati autoanticorpi: anti-insulina pancreatica (ICA), anti-decarbossilasi dell'acido glutammico (GAD), anti-insulina (IAA), anti-tirosina fosfatasi (IA-2A), anti-trasportatore dello zinco 8 (ZnT8); 2) Meccanismo dell'insulino resistenza che porta all'esaurimento della funzione β cellulare nel tentativo di compensare la ridotta azione dell'insulina; in questa forma spesso l'agente responsabile dell'insulino resistenza riesce ad essere anche tossico sulla β cellula, come nel caso degli acidi grassi saturi; 3) Trasmissione autosomica dominante di vari deficit enzimatici che disturbano il corretto funzionamento della β cellula; 4) Svariati agenti tossici sulla β cellula, ancora da chiarire e da dimostrare nella loro interezza.

La sindrome del diabete mellito riconosce nella sua attuale classificazione, ormai risalente al lontano 1979, due forme predominanti e una miriade di altre patologie più o meno rare:

Il diabete tipo 1 (in base ai dati ARNO il 5% dei casi in Italia) è definito classicamente come la forma a patogenesi autoimmune, con esordio prevalente nella seconda decade della vita, non associato ad obesità, con esordio acuto spesso con chetoacidosi diabetica e con necessità vita natural durante di terapia insulinica sostitutiva.

Il diabete tipo 2 (in base ai dati ARNO il 90% dei casi in Italia) è definito classicamente come la forma secondaria all'insulino resistenza, con esordio prevalente dopo i 30 anni, associato a sovrappeso ed obesità, con esordio lento, complicato da chetoacidosi diabetica solo in casi eccezionali e con la possibilità di essere curato per anni con farmaci alternativi alla terapia insulinica, che però si rende poi necessaria in una notevole percentuale dei casi (su 3 persone trattate con insulina in Italia solo 1 ha il diabete tipo 1, le altre 2 hanno il diabete di tipo 2). Per questo motivo la dizione di diabete insulino dipendente per il tipo 1 e non insulino dipendente per il tipo 2 non dovrebbe assolutamente essere usata, perché non corretta e fonte di confusione.

Il restante 5% comprende fra l'altro:

Il diabete monogenico precedentemente denominato MODY (maturity onset diabetes of the young), costituito da almeno 33 differenti forme quasi tutte con trasmissione autosomica dominante (ma anche autosomica recessiva, legata al cromosoma X o al DNA mitocondriale) che giustificano il 4% dei casi in età pediatrica e circa l'1% dei casi sopra i 18 anni; sono tutte forme con cattivo funzionamento della β cellula su base genetica con esordio prima dei 50 anni o a livello neonatale. Generalmente rispondono bene alle sulfoniluree e non hanno grossa predisposizione alle complicanze del diabete. Alcune forme si associano ad aspetti malformativi, quali sordità ad esordio precoce.

Il diabete gestazionale che con gli attuali criteri diagnostici interessa circa l'11% delle gravidanze. È una

forma particolare di diabete di tipo 2 dovuto all'ingravescente insulino resistenza nel corso della gestazione che compare nel secondo trimestre e peggiora nel trimestre successivo per poi scomparire dopo il parto. Spesso richiede terapia insulinica. Questa forma di diabete non aumenta il rischio di malformazioni fetali, dato che è assente nel primo trimestre, ma è un fattore di rischio di sviluppo di diabete tipo 2 per la madre almeno nei 10 anni successivi al parto.

Il diabete secondario con due forme nettamente più frequenti: secondario a terapia cortisonica e secondario a patologia pancreatica. Entrambi richiedono nella quasi totalità dei casi terapia insulinica.

Infine esistono forme di difficile collocazione, con caratteristiche intermedie fra il diabete tipo 1 e il diabete tipo 2. Queste forme sembrano aumentare nel corso degli ultimi anni rendendo dopo 40 anni sempre più problematica e criticabile la distinzione fra tipo 1 e tipo 2 che in effetti evidenzia tutta una serie di limiti:

- L'insorgenza temporale delle due forme si è andata modificando. Da una parte il picco d'incidenza del diabete tipo 1 si è sdoppiato in due picchi, uno precoce nella prima decade della vita e uno tardivo dalla terza decade in poi. È interessante notare come queste forme tardive si presentino spesso con esordio lento e con un fabbisogno insulinico meno marcato ad indicazione di un danno β cellulare meno esteso. Dall'altra parte l'insorgenza del diabete di tipo 2 si va anticipando anno dopo anno e negli USA ormai è presente già nella seconda decade della vita.
- Si possono trovare diabetici di tipo 1 obesi e diabetici di tipo 2 normo o sottopeso.
- Il riscontro di autoanticorpi non è limitato al diabete di tipo 1. In Italia il 4,5% dei diabetici di tipo 2 non in trattamento insulinico presenta positività degli anti GAD e/o degli anti IA-2A. Per questo gruppo di diabetici sono state coniate diverse definizioni: LADA (Latent Autoimmune Diabetes Adult) oppure NIRAD (Non Insulin Requiring Autoimmune Diabetes). Tuttavia non vi è ancora accordo se collocare questi soggetti come una variante del diabete tipo 1 a decorso "benigno" o una variante del diabete tipo 2 con associazione del tutto occasionale ad autoimmunità oppure come una forma a se stante completamente distinta da tipo 1 e tipo 2.
- In età pediatrica, oltre all'autoimmunità, anche l'insulino resistenza può partecipare alla patogenesi del diabete tipo 1. L'epidemiologia ci dimostra che i bambini che sviluppano diabete tipo 1 sono tutti al di sopra del 50° percentile del peso alla loro età. Un bambino con autoimmunità se in sovrappeso o obeso avrà un rischio maggiore di arrivare alla distruzione β cellulare rispetto ad un bambino con autoimmunità che sia normopeso.
- Una significativa percentuale di persone con diabete tipo 2, fra il 10 e il 15%, non presenta insulino resistenza.
- Viene segnalata con sempre maggiore frequenza una forma di diabete tipo 2 con esordio caratterizzato da chetoacidosi diabetica (c.d. diabete tipo 2 "chetosi

prono”). Si ritiene che ormai i 2/3 di esordio di diabete con chetoacidosi si verifichino in soggetti con assenza di autoanticorpi e persistenza di un certo livello di funzione β cellulare. Questi soggetti dopo un trattamento insulinico intensivo iniziale riescono dopo qualche mese a sospendere la terapia insulinica. Dopo 10 anni ancora il 40% non necessita di terapia insulinica.

In considerazione di tutti questi problemi bisogna attendersi nei prossimi anni una nuova classificazione del diabete che probabilmente si baserà sulla presenza o meno di uno o più fattori patogenetici di danno β cellulare elencati in precedenza: 1) Autoimmunità; 2) Insulino resistenza; 3) Forme monogeniche; 4) Tossicità diretta sulla β cellula. Il concetto nuovo è che si può avere un diabete con doppia patogenesi ereditata separatamente dai due genitori: ad es. un diabete monogenico da un genitore e l'insulino resistenza dall'altro (avremo così un diabete monogenico più aggressivo del solito) oppure l'autoimmunità da una parte e l'insulino resistenza dall'altra con quadri fenotipici variabili: tipo 1 ad esordio tardivo, tipo 2 con autoimmunità o NIRAD vero e proprio.

L'impatto clinico e sociale delle complicanze dell'iperglicemia cronica su vasi e nervi può essere facilmente così riassunto: il diabete è la prima causa di cecità in età lavorativa, la prima causa di amputazione non traumatica dell'arto inferiore, fra le prime cause di insufficienza renale avanzata (dialisi o trapianto renale). Inoltre aumenta il rischio di infarto del miocardio di due volte, due volte e mezza. Negli ultimi anni si è andata delineando una nuova complicanza: l'insufficienza cardiaca congestizia che in base ai dati ARNO è diventata la prima causa di ricovero ospedaliero nella popolazione diabetica.

In Italia la legge 115/87 “Disposizioni per la prevenzione e la cura del diabete mellito” contiene almeno due richiami alla tutela della persona con diabete nel modo del lavoro e più precisamente la lettera d dell'Art.1: “...agevolare l'inserimento del diabetico nella scuola, nelle attività sportive e nel **lavoro**...” e il comma 1 dell'Art. 8: “...escludere qualsiasi forma di discriminazione nei riguardi dei malati di diabete, riconoscendo loro **il diritto di accedere, ove le loro condizioni fisiche lo permettano, a posti di lavoro sia pubblici che privati**, ottenere l'iscrizione alle scuole di ogni ordine e grado e l'accesso alle discipline sportive...”. Tale legge è stata integrata dalla legge 104 del 1992 che concede alla persona con diabete, quando sia riconosciuta una situazione di gravità, tre permessi mensili (retribuiti) per effettuare i regolari controlli medici.

Il Manifesto dei diritti e dei doveri della persona con diabete nella Prima Sezione DIRITTI DELLA PERSONA CON DIABETE ribadisce che: “...I diritti di coloro che hanno il diabete sono gli stessi diritti umani e sociali delle persone senza diabete. I diritti comprendono la parità di accesso all'informazione, all'educazione terapeutica, al trattamento del diabete e alla diagnosi e cura delle complicanze. Il sistema sanitario deve garantire alla persona con diabete l'uso di metodi diagnostici e terapeutici appropriati, in modo uniforme su tutto il territorio nazionale. Il diritto delle persone con diabete a vivere una vita sociale, educativa, **lavorativa** alla pari delle persone senza diabete deve

essere considerato l'obiettivo primario delle azioni di governo...”.

Parimenti fin dal 1984 (ribadito nel 2011) l'American Diabetes Association afferma che “...Any person with diabetes, whether insulin treated or non insulin treated, should be eligible for any employment for which he/she is otherwise qualified...”.

Il Documento di Consenso “Diabete e Lavoro” redatto da SIMLII e Diabete Italia afferma che “...il diabete non debba essere inteso sempre e comunque, come spesso avviene, come una disabilità...”. Il diabete mellito, ben compensato, non è un ostacolo per l'inserimento nel mondo del lavoro e non implica una riduzione della capacità lavorativa. Nel caso in cui ci fossero frequenti manifestazioni acute di scompenso o in cui sorgessero le classiche complicanze croniche della malattia come la retinopatia, la nefropatia, la neuropatia o malattie cardiovascolari il giudizio di idoneità dovrà essere visto in funzione della mansione e delle condizioni psico-fisiche del lavoratore al fine di una corretta tutela della salute del lavoratore. I casi in cui il diabete costituisce motivo di assoluta inidoneità a una mansione sono pochi, e relativi in genere al solo diabete insulinotratato. Questo spiega anche perché rispetto alla prevalenza del diabete nella popolazione in età lavorativa, le vertenze relative all'idoneità del lavoratore con diabete siano poche, sia a livello giurisprudenziale, sia nell'esperienza dei Servizi Territoriali di Medicina del Lavoro.

L'aspetto peculiare che configura in modo unico la persona con diabete e la rende degna di una valutazione particolare in confronto ad altri soggetti con patologie renali, neuropatiche, deficit visivi, amputazioni dell'arto inferiore o malattie cardiovascolari è l'**ipoglicemia**. Il livello diagnostico per l'ipoglicemia è un valore inferiore a 70 mg/dl. L'ipoglicemia nel diabete non è un fenomeno spontaneo, ma al contrario invariabilmente **iatrogeno**, conseguenza dei farmaci somministrati per abbassare la glicemia. Fra i farmaci utilizzati nel trattamento del diabete aumentano il rischio di ipoglicemia l'insulina, le sulfoniluree e le glinidi. Al contrario la metformina, l'acarbosio, gli inibitori del DPP-IV, gli analoghi del GLP-1, i tiazolidindioni e gli inibitori dell'SGLT-2 non aumentano il rischio di ipoglicemia. La forma di ipoglicemia più pericolosa in generale e particolarmente in alcuni ambiti lavorativi è l'**ipoglicemia grave** definita come un episodio ipoglicemico che richiede l'aiuto di una seconda persona per poter essere trattato a prescindere dal valore della glicemia. In altre parole una persona con una glicemia di 50 mg/dl che si rende conto di cosa sta succedendo ed assume dello zucchero non ha un'ipoglicemia grave, mentre una persona con 80 mg/dl può avere un grave disturbo confusionale se la glicemia è caduta rapidamente da valori elevati, non riesce ad assumere carboidrati da sola ed ha di conseguenza un'ipoglicemia grave. L'incidenza di ipoglicemia grave è più elevata nel diabete tipo 1, nelle persone con diabete tipo 2 in trattamento insulinico in confronto alle persone con diabete tipo 2 non in trattamento insulinico, nel diabete secondario a terapia cortisonica trattato con insulina e negli studi osservazionali in confronto ai trials clinici randomizzati. I maggiori fattori di rischio

sono la durata di malattia nel diabete tipo 1, la durata del trattamento insulinico nel diabete tipo 2, l'assenza o la riduzione dei sintomi autonomici dell'ipoglicemia, la presenza di neuropatia diabetica periferica, di insufficienza renale e la polifarmacologia. Oltre all'ipoglicemia grave anche un'elevata frequenza di ipoglicemie non gravi deve essere valutata con attenzione in ambito lavorativo, dal momento che una completa *restitutio ad integrum* delle funzioni cerebrali si verifica solo 1-2 ore dopo la normalizzazione della glicemia. Indubbiamente alcune situazioni quali il lavoro in quota, la guida professionale, mansioni comportanti l'obbligo di dotazione del porto d'armi sono gli esempi più evidenti della necessità di una corretta valutazione del rischio di ipoglicemia in generale e di ipoglicemia grave in particolare del lavoratore con diabete. Tuttavia nell'interesse del lavoratore e della comunità una

valutazione del rischio di ipoglicemia dovrebbe essere effettuata nell'ambito della valutazione dell'idoneità fisica al lavoro di ogni persona con diabete.

Bibliografia

- Diabete e Lavoro Documento di Consenso Società Italiana di Medicina del Lavoro ed Igiene Industriale Diabete Italia Nuova Editrice Berti 2014.
- Il Manifesto dei diritti e dei doveri della persona con diabete Diabete Italia 2015.
- ISTAT annuario statistico 2016.
- Legge 16 marzo 1987, n. 115 Disposizioni per la prevenzione e la cura del diabete mellito. (G.U. Serie Pregressa, n. 71 del 26 marzo 1987).
- Osservatorio ARNO Diabete Il profilo assistenziale della popolazione con diabete Rapporto 2017 Volume XXX - Collana "Rapporti ARNO".

Corrispondenza: Salvatore Caputo, Università Cattolica del Sacro Cuore - Dipartimento Scienze Gastroenterologiche, endocrino-metaboliche e nefro-urologiche, Area Endocrino-Metabolica e Dermo-Reumatologica, UOSA Diabetologia, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli Roma, Italy, E-mail: scaputo@rm.unicatt.it

SESSIONE PLENARIA
Metodi avanzati di valutazione del rischio e protezione dei lavoratori

Lorenzo Chiari^{1,2}, Alberto Ferrari¹

Monitoring human activities that might cause work-related musculoskeletal disorders by means of inertial and magnetic sensors

¹ CIRI-SDV, University of Bologna

² DEI, University of Bologna

RIASSUNTO. L'utilizzo in ambito lavorativo di nuove tecnologie indossabili è considerato una sfida chiave di ricerca nel campo dell'ergonomia applicata. Il deterioramento della salute fisica dei lavoratori e la perdita di giorni lavorativi non influiscono solo sul loro benessere e sulla qualità della vita, ma anche sull'economia dei Paesi Europei.

I disturbi muscoloscheletrici lavoro correlati interessano muscoli, articolazioni e tendini. Se essi sono conseguenza dell'attività lavorativa si parla di Disturbi Muscoloscheletrici Lavoro-Correlati (WMSD). I sensori inerziali e magnetici (IMU) potrebbero aprire nuove prospettive nel rilevamento e nella misurazione obiettiva dei WMSD in quanto consentono di raccogliere dati senza interferire sulle attività lavorative svolte per periodi di tempo prolungati. L'evoluzione delle tecnologie ha permesso, infatti, non solo il miglioramento della precisione nelle misurazioni, ma anche la riduzione dell'intrusività e la maggiore vestibilità degli strumenti di rilevazione.

Parole chiave: disturbi muscolo-scheletrici lavoro-correlati, sensori inerziali, sensori magnetici.

ABSTRACT. Activity recognition based on new wearable technologies is considered a key research challenge in the field of applied ergonomics. Deterioration of workers' physical health and loss of workdays impact not only on their wellbeing and quality of life, but also on European countries economy. Musculoskeletal disorders are injuries or pain affecting muscles, joints and tendons. If these disorders are work related are described as Work related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). Inertial and magnetic sensor units (IMUs) might open new perspectives in detection and objective measure of WMSDs because they allow to collect data on work activities under free conditions and over extended periods of time. The evolution of technologies has observed not only improvement in measurement accuracy and precision, but also a reduction in intrusiveness and an enhanced fit of the measure technologies.

Key words: work-related Musculoskeletal Disorders, Inertial and magnetic sensor units.

Activity recognition based on new wearable technologies is considered a key research challenge in the field of applied ergonomics. Deterioration of workers' physical health and loss of workdays not only impact their wellbeing and quality of life, but also European countries economy (1).

Musculoskeletal Disorders (MSDs) are injuries or pain affecting muscles, joints and tendons. MSDs result from daily awkward postures and handling tasks, such as: prolonged adoption of impairing postures, forceful exertions in lifting or carrying loads, bending and twisting the back or limbs, exposure to vibration or repetitive movements. If these activities are work-related, then the resulting injuries and disorders are referred to as Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). Recognizing and monitoring human activities that might cause WMSDs are of great importance in the assessment of workplace safety and in the prevention of occupational diseases (2). In turn, WMSDs can result in a reduction in the quality or quantity of work produced.

Several procedures are available for analyzing the execution of work tasks designed to assess the risk of biomechanical overload caused by the loads handling, the execution of repeated movements with high joint excursions and the prolonged assumption of trunk and limbs non-physiological postures. These procedures, however, are essentially observational and therefore burdened by a lack of objectivity. The practical application of observational procedures for the assessment of biomechanical risk is a complex process that requires considerable experience and that takes company resources out from other missions. Information such as the frequency of movements, their articular excursion, postural attitudes, the movement of loads and the consequent load on joints, etc., are nowadays assessed in a subjective way, through observation of the various phases of work with the sole aid of video footage (3). In terms of accuracy, a difference of ten degrees in a posture is not easily noticeable while observing a worker in real time or by means of two-dimensional video images. Besides, visual observations tend to be imprecise and result in excessively subjective evaluations including when conducted by expert observers (e.g. ergonomists) (4).

Inertial and magnetic sensor units (IMUs) might open new perspectives in detection and objective measure of

WMSDs. They are commercially available, low-cost, portable motion analysis systems, and consist of light-weight sensing units that typically comprise a 3D accelerometer, gyroscope, and magnetometer. IMUs have been used mainly for navigation of aircraft, ships, land vehicles and robots, and also for shock and vibration analysis in several industries. Rapid development of micro-electromechanical systems (MEMS) technology has contributed during the last decade to the development of small-size and fully wireless IMUs. Currently, many manufacturers propose inertial sensors that are easy to attach, wear and handle. These sensors allow one to collect data on work activities under free conditions and over extended periods of time. IMUs typically include a micro-controller, a set of a 3D accelerometer, gyroscope and magnetometer MEMS sensors, a module for external communication and real-time data streaming (e.g. Bluetooth or wi-fi), a memory for local data storage and a Li-ion battery. IMUs might also include a thermometer, as aiding sensor to compensate for temperature dependencies of other sensing elements, and a barometer, a sensing element that measures atmospheric pressure used as an aiding sensor to get height information. The sensor nodes are usually recharged by standard micro-USB ports, by induction or by a docking station provided by the manufacturer. Normally an on-board processing allows to preprocess data in order to obtain orientation estimation. The orientation of the IMU is computed typically by a Madgwick's complementary filter or by a Kalman filter, with in input angular velocity and accelerations increments and magnetometer samples. The filter optimally fuse inertial and magnetic data to obtain orientation estimates for both static and dynamic movements. The 3D orientation of the IMU is provided with respect to a global, earth-based coordinate system. This means that an IMU can measure the orientation of the body segment to which it is attached without the need of any camera or external infrastructure. Given this 3D orientation, IMUs have the potential to estimate body postures and joints kinematics by means of the definition of a biomechanical model based on anatomical reference systems (5). In particular, segment positions and orientations are typically estimated by applying the result of a sensor-to-segment calibration procedure to the corresponding sensor orientation estimates, and applying it to a (scaled) biomechanical model of the human body. Under the technical point of view, there is already a body of evidence suggesting a strong consistency between measuring posture and kinematics with IMUs and gold standard systems such as the optoelectronic systems (5).

In the healthcare domain, IMUs are the most widely used type of wearable systems for gait and balance analysis and have been extensively validated in healthy volunteers and in groups of persons with motor impairment. Additionally, technology is being developed for inertial sensor data collection, storage and/or transmission with smart devices such as phones and watches (6).

In the occupational domain, maintenance or assembly tasks have mainly been considered. Despite IMUs are increasingly being promoted in various studies (7), yet, a literature review also shows that, while some initial works

have been reported on the use of IMUs for tracking the motion of construction workers in the fields of productivity, just very few works have been conducted to assess body posture or motion more completely to evaluate WMSDs (8).

Despite this huge advantage over alternative motion capture systems, inherent drift of orientation (and position) in current solutions has prevented inertial motion capture systems to become a commodity. Specifically the direct use of the magnetometer readings to obtain heading is a major source of error, since magnetic distortions, for instance from common materials in buildings (steel constructions, reinforced concrete, etc.), furniture, and electronic equipment, or magnetometer calibration errors significantly affect the overall accuracy (8). No longer than few months ago Xsens, the global leading manufacturer of inertial sensors (Xsens Technologies BV, NL) has announced to have released a new motion capture engine immune to magnetic distortions but evidences have still to be produced by the scientific community (9).

MEMS-based accelerometers alone have the pros of being extremely limited in energy consumption and dimension, allowing to increase furthermore the user-friendliness and simplicity of use in working contexts. Furthermore, by avoiding the use of magnetometers, the aforementioned magnetic distortions do not affect accuracy and robustness of measures. These systems appear to have a good potential in applications where the WMSDs are due to the prolonged adoption of static impairing postures of limbs or back more than to the performance of uncorrected movements. In fact, the accelerometers used as inclinometers are able to assess workers' exposures in terms of degree and intensity of inclinations of body parts.

The great advantage of wearable sensors is the ability to measure human movement in any working environment for extended periods of time without hindering or interfering with workers' tasks. The evolution of technologies has observed not only improvement in measurement accuracy and precision, but also reduction in intrusiveness and enhanced wearability. IMUs allow to have body posture and movement measurement systems that are non-intrusive to enable their use over long periods of time, ubiquitously and without external infrastructures. Their ability to be free from magnetic field distortion is still to be proved especially in working automotive environments.

References

- 1) The Health, Safety Executive Health and safety statistics 2017. URL <http://www.hse.gov.uk/statistics/>
- 2) Valero E, Sivanathan A, Bosché F, et al. Musculoskeletal disorders in construction: a review and a novel system for activity tracking with body area network. *Appl Ergon* 2016; 54: 120-130.
- 3) Takala EP, Pehkonen I, Forsman M, et al. Systematic Evaluation of Observational Methods Assessment Biomechanical Exposures at Work. *Scand J Work Environ Health* 2010; 36(1): 3-24.
- 4) Kemmlert K. A method assigned for the identification of ergonomics hazards. *PLIBEL Appl Ergon* 1995; 26(3): 199-211.
- 5) Cutti AG, Ferrari A, Garofalo P, et al. Outwalk: A protocol for clinical gait analysis based on inertial and magnetic sensors. *Med Biol Eng Comput* 2010; 48:17-25.

- 6) Shanahan CJ, Boonstra FMC, Cofré Lizama LE, et al. Technologies for Advanced Gait and Balance Assessments in People with Multiple Sclerosis Front Neurol 2018; 8: 708.
- 7) Wang D, Dai F, Ning X. Risk assessment of work-related musculoskeletal disorders in construction: state-of-the-art review. J Constr Eng Manag 2015; 141(6).
- 8) Lee W, Seto E, Lin KY. An evaluation of wearable sensors and their placements for analyzing construction worker's trunk posture in laboratory conditions. Applied Ergonomics 2017; 65: 424-436.
- 9) de Vries WHK, Veeger HEJ, Baten CTM, et al. Magnetic Distortion in Motion Labs, Implications for Validating Inertial Magnetic Sensors. Gait Post 2009; 29(4): 535-541.
- 10) Schepers M, Giuberti M, Bellusci G, Xsens MVN. Consistent Tracking of HumanMotion Using Inertial Sensing. Xsens Whitepaper: URL <https://content.xsens.com/mvn-whitepaper>

Correspondence: *Lorenzo Chiari, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italy, E-mail: lorenzo.chiari@unibo.it*

Alessia Giangrande¹, Alberto Leardini¹, Giada Lullini¹, Francesco Saverio Violante², Lisa Berti¹,
Roberta Bonfiglioli², Paolo Caravaggi¹

Uso di solette sensorizzate per la registrazione della movimentazione manuale di carichi

¹ Laboratorio di Analisi del Movimento, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna

² Dipartimento Scienze Mediche e Chirurgiche Università di Bologna

RIASSUNTO. Il presente lavoro ha voluto analizzare la fattibilità dell'uso di sistemi baropodometrici a solette sensorizzate per quantificare l'entità dei carichi trasportati durante attività lavorative. A questo scopo sono stati registrati parametri di pressione plantare, su un campione di 16 soggetti, tramite un sistema di solette sensorizzate capacitive (Pedar, Novel) durante l'esecuzione di vari compiti motori, trasportando tre carichi del peso di 4, 8, e 12 kg. Tre modalità di trasporto del carico sono state investigate: frontalmente in una scatola, in buste portate a mano, e tramite uno zaino sulle spalle. I risultati dello studio hanno dimostrato la capacità del sistema di discriminare differenze di carico trasportato uguali o maggiori di 8 kg, suggerendone perciò l'utilizzo anche in campagne di misura in ambienti di lavoro.

Parole chiave: trasporto di carichi, modalità di trasporto, pressione plantare.

ABSTRACT. INSTRUMENTED INSOLES FOR THE MEASURE OF CARRIED WEIGHT LOADS. The present work aimed at analyzing the feasibility of using in-shoe sensorized pressure insoles to quantify the magnitude of loads carried during working activities. For this purpose, capacitive sensor insoles (Pedar, Novel) were used to record pressure parameters on a sample of 16 subjects during the execution of a number of motor tasks; while carrying 4, 8, and 12 kg loads. Three carrying modes were investigated: in a box in front of the chest, in hand-held bags, and in a backpack. The present preliminary results demonstrated the system's capability to discriminate load weights equal to or greater than 8 kg, thus suggesting its application in measurement campaigns in working environments.

Key words: load carriage, carrying mode, plantar pressure.

Introduzione

La ripetuta movimentazione di carichi di peso significativo può determinare, nel tempo, stress meccanico e sovraccarico funzionale a livello del segmento lombo-sacrale del rachide con successiva lombalgia (1,2) che, ad oggi, rappresenta una delle cause in assoluto più frequenti di assenza dall'ambiente lavorativo (3). È stato inoltre documentato che la movimentazione reiterata nel tempo di carichi comporta il progressivo sviluppo di micro-traumatismi cronici fino ad esauribilità dell'apparato locomotore (4). Una stima dell'intensità dei carichi sollevati e del numero di ripetizioni di carico eseguite durante i turni di lavoro è di fondamentale importanza al fine di monitorare l'entità dello sforzo fisico a carico del sistema muscolo-scheletrico del singolo lavoratore e quindi di pianificare un adeguato piano di prevenzione (4-6) soprattutto nell'ambito della Medicina del Lavoro.

In quest'ottica quindi, al fine di analizzare il sovraccarico funzionale del sistema muscolo-scheletrico, si presenta la necessità di identificare un sistema di misurazione personalizzato, non invasivo, capace di quantificare numericamente gli elementi fondamentali del compito di movimentazione carichi, e cioè l'entità e la frequenza del carico. I moderni sistemi di baropodometria a solette sensorizzate hanno raggiunto standard qualitativi ed affidabilità notevole, e sono pertanto strumenti potenzialmente utili a questi scopi (7). L'obiettivo specifico dello presente studio è stato quindi quello di quantificare l'entità dei carichi trasportati e movimentati durante l'attività lavorativa tramite l'utilizzo di solette sensorizzate per la misura della pressione plantare.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto su un campione di 16 soggetti volontari (8 maschi, 8 femmine; età 31 ± 7 anni, BMI 23 ± 3 kg/m²). La distribuzione delle pressioni plantari è stata misurata attraverso un sistema di solette sensorizzate capacitive (Pedar, Novel GmbH, Monaco di Baviera) durante l'esecuzione di specifici compiti motori, tipici di molte attività lavorative: cammino normale, cammino veloce, salita delle scale e discesa delle scale. I soggetti

hanno utilizzato scarpe sportive personali e plantare piatto in lattice di 3 mm per uniformare le condizioni di esecuzione dell'esperimento.

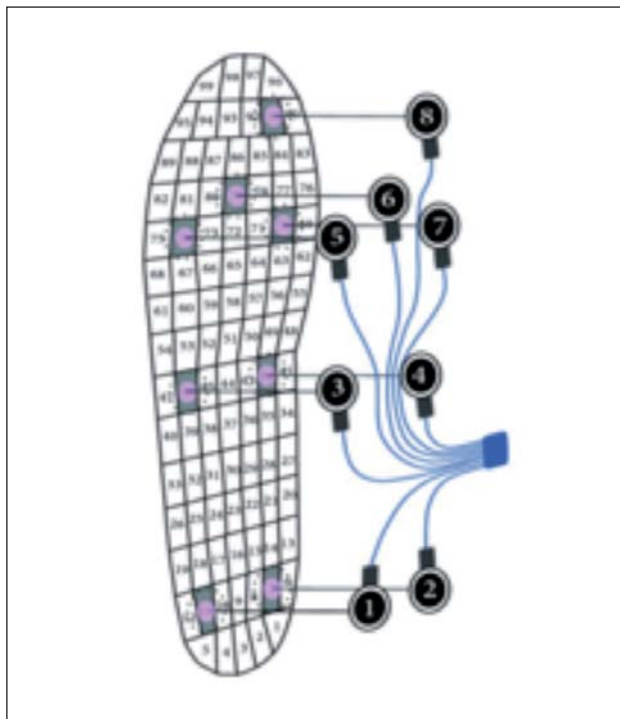


Figura 1. Sistema a solette sensorizzate (Pedar, Novel, Germany)

Ogni soggetto ha eseguito ciascun compito motorio movimentando tre carichi (4 kg, 8 kg, 12 kg) in tre diverse modalità di trasporto: all'interno di una scatola sorretta frontalmente da entrambe le braccia (BX), in due buste laterali sorrette a mano (HB), ed all'interno di uno zaino po-

sizionato sulle spalle (PB). Il percorso è stato ripetuto anche in assenza di carico al fine di costituire un gruppo di controllo. L'ordine del carico e della modalità di trasporto è stato randomizzato per ciascun soggetto.

Per ogni soggetto, compito motorio e modalità di carico, sono state calcolate le seguenti variabili pressorie: picco di pressione (unità di misura il kPa), integrale pressione-tempo (kPa*s), e forza massima (N). Per i confronti statistici è stato utilizzato il test non parametrico di Friedman e post-hoc Turkey-Kramer con la correzione di Bonferroni.

Risultati

Riportiamo di seguito i risultati relativi alla modalità di trasporto scatola sorretta frontalmente da entrambe le braccia. Per quanto riguarda il tempo di contatto piede-suolo, all'interno di ciascun compito motorio non sono state identificate differenze statisticamente significative in relazione all'intensità dei carichi trasportati. Questo conferma che tutti i confronti sono stati condotti nelle stesse condizioni dinamiche, a pari velocità di trasporto del carico. Per quanto riguarda il picco di pressione, sono state trovate differenze statisticamente significative in relazione al peso trasportato. Al retropiede, il picco di pressione è risultato maggiore durante il cammino veloce rispetto agli altri compiti motori. La forza massima è risultata significativamente diversa nel cammino normale e cammino veloce quando le differenze in peso trasportato erano maggiori o uguali a 8 kg ($p < 0.05$). Il sistema baropodometrico di misurazione da noi testato per l'acquisizione dei dati ha dimostrato quindi la capacità di discriminare differenze di carico trasportato dai lavoratori per queste quantità.

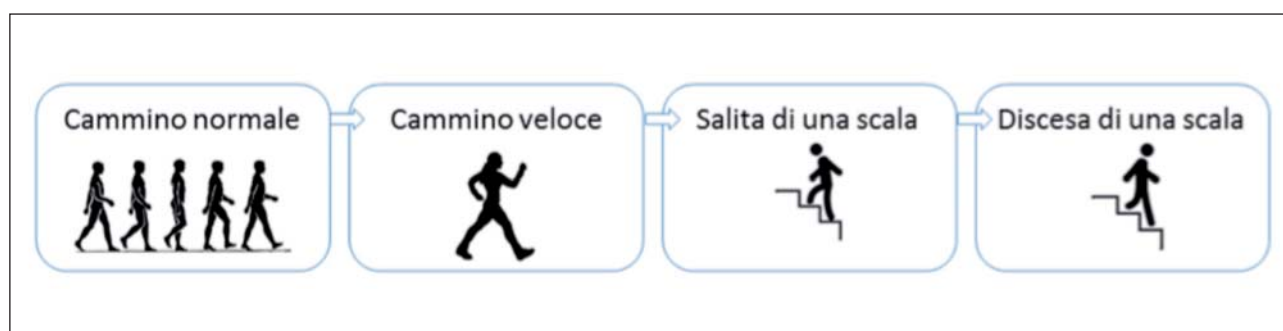


Figura 2. Compiti motori eseguiti da ciascun soggetto



Figura 3. Tre modalità di trasporto del carico

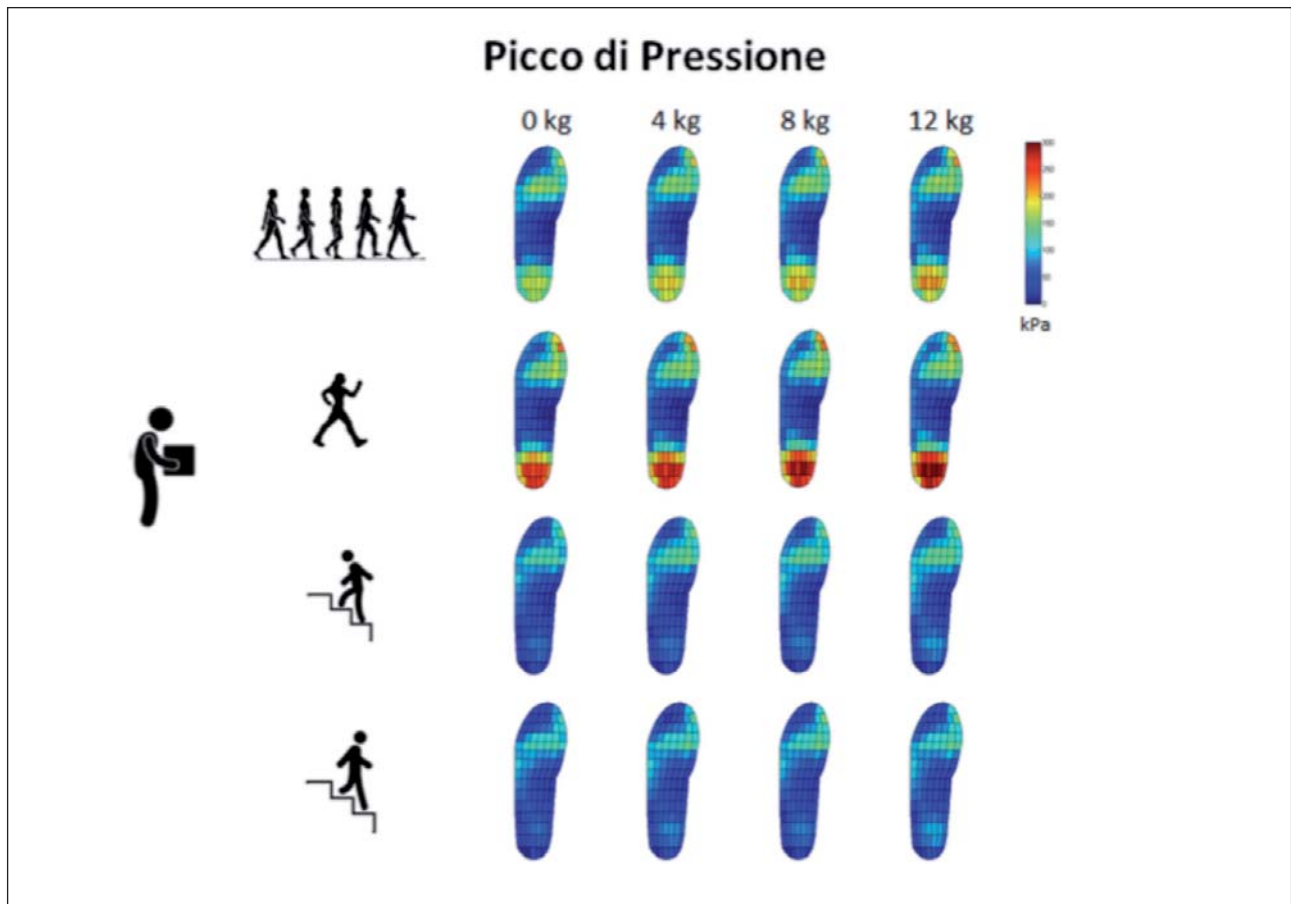


Figura 4. Mappa del picco di pressione medio (kPa) registrato da ciascun sensore per tutti i passi di tutti i soggetti durante la modalità BX, per i 4 carichi trasportati (colonne) e per ciascun task motori (righe)

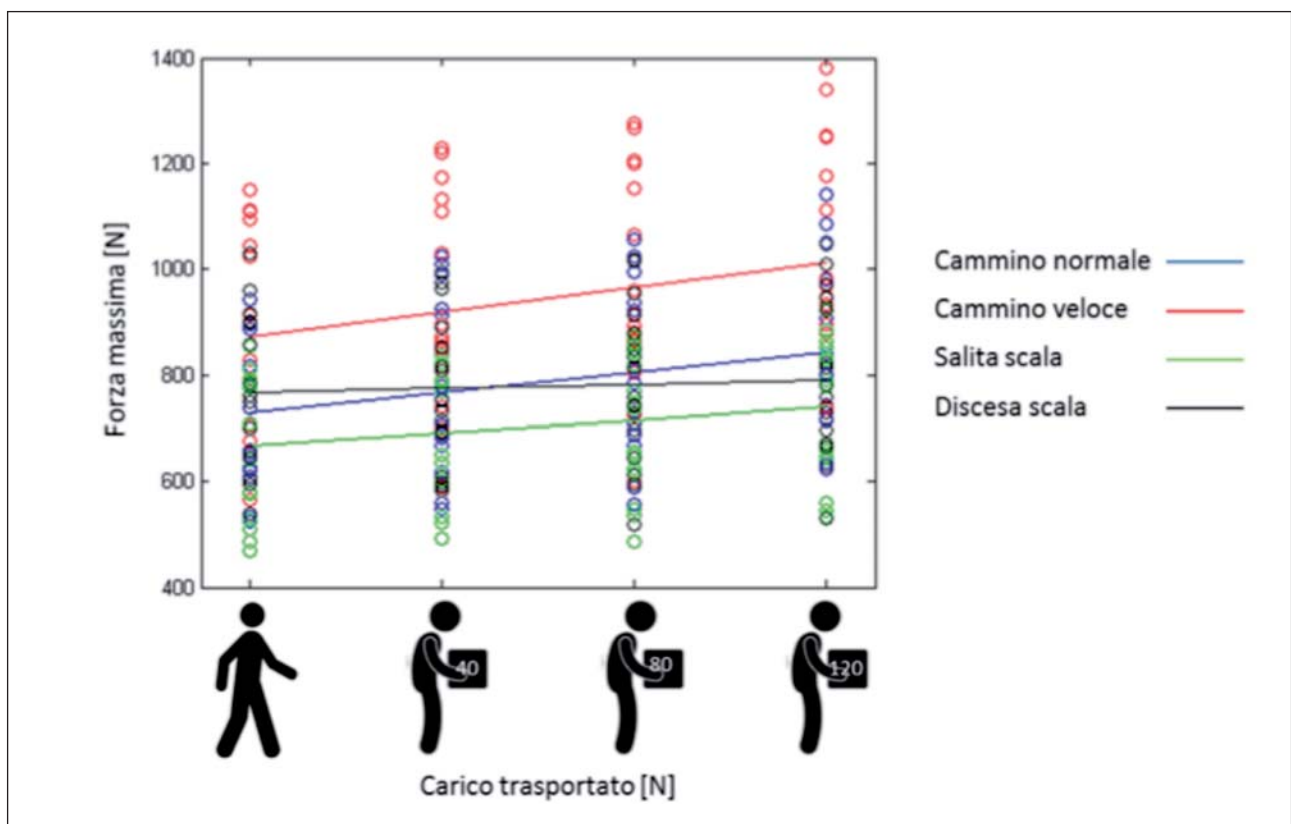


Figura 5. Relazione tra il carico trasportato (modalità BX) e la forza stimata dalle solette sensorizzate durante tutti i task motori

Tabella I. Tempo di contatto piede-suolo (media $\pm$ dev.st.) per ciascun compito motorio e carico trasportato durante la modalità BX

Tempo di contatto piede-suolo [s]					
	Carico trasportato (kg)	Cammino Normale	Cammino Veloce	Salita Scala	Discesa Scala
	0	0.72 ± 0.06	0.60 ± 0.05	0.89 ± 0.13	0.79 ± 0.09
	4	0.71 ± 0.07	0.60 ± 0.06	0.86 ± 0.10	0.81 ± 0.08
	8	0.70 ± 0.06	0.58 ± 0.05	0.89 ± 0.13	0.81 ± 0.08
	12	0.70 ± 0.07	0.57 ± 0.07	0.90 ± 0.15	0.83 ± 0.08
	p-value	NS	NS	NS	NS

Conclusioni

Sulla base dei dati acquisiti è stato possibile verificare sperimentalmente che all'aumentare dell'intensità del carico trasportato aumentano i valori di diversi parametri di pressione plantare, sia in funzione del peso trasportato che della modalità di trasporto. All'aumentare della velocità del cammino aumentano i valori pressori registrati dalle solette sensorizzate, ad indicare l'importante effetto della velocità del cammino sulle condizioni dinamiche a livello di interfaccia piede/calzatura. Inoltre è stata verificata una corrispondenza quasi lineare tra intensità del peso trasportato e forza massima nei compiti motori di cammino normale e cammino veloce. Le solette sensorizzate hanno quindi permesso di stimare variazioni dell'intensità dei carichi trasportati attraverso misurazioni precise e ripetibili tra soggetti diversi.

Nonostante ulteriori test debbano essere condotti per validare i risultati preliminari qui presentati, possiamo affermare che le solette sensorizzate sembrano essere uno strumento idoneo per la valutazione della distribuzione della pressione in diverse regioni dell'aspetto plantare del piede, e per determinare l'entità dei carichi mobilizzati in

ambiente di lavoro. Le differenze in parametri di pressione evidenziate tra compiti motori diversi potrebbero anche permettere di stimare la modalità di trasporto del carico.

In conclusione, questo studio ha evidenziato che le solette di pressione possono essere utilizzate per il monitoraggio e la valutazione dei rischi nel trasporto di carichi in ambiente lavorativo. Rimane ancora da determinare quanto l'entità e la distribuzione dei carichi pressori a livello plantare sia correlata con lo stress meccanico a li-

vello delle strutture muscolo-scheletriche del segmento lombo-sacrale del rachide al fine di minimizzare il rischio di lombalgia lavoro-correlata.

Bibliografia

- 1) Coenen P, Kingma I, Boot CRL, et al. Cumulative mechanical low-back load at work is a determinant of low-back pain. *Occup Environ Med* 2014; 71(5): 332-7.
- 2) Pope MH, Goh KL, Magnusson ML. Spine ergonomics. *Annu Rev Biomed Eng* 2002; 4(1): 49-68.
- 3) Andersen LL, Fallentin N, Ajslev JZN, et al. Association between occupational lifting and day-to-day change in low-back pain intensity based on company records and text messages. *Scand J Work Environ Health* 2017; 43(1): 68-74.
- 4) Coenen P, Gouttebarger V, Van Der Burght AS, et al. The effect of lifting during work on low back pain: a health impact assessment based on a meta-analysis. *Occup Environ Med* 2014; 71(12): 871-7.
- 5) Dreischarf M, Shirazi-Adl A, Arjmand N, et al. Estimation of loads on human lumbar spine: A review of in vivo and computational model studies. *Journal of Biomechanics* 2016; (49): 833-845.
- 6) Holtermann A, Clausen T, Aust B, et al. Does occupational lifting and carrying among female health care workers contribute to an escalation of pain-day frequency? *Eur J Pain* 2013; 17(2): 290-6.
- 7) Mann R, Malisoux L, Urhausen A, et al. Plantar pressure measurements and running-related injury: A systematic review of methods and possible associations. *Gait Posture* 2016; 47: 1-9.

Corrispondenza: Alberto Leardini, Centro di Ricerca Codivilla-Putti, Istituto Ortopedico Rizzoli, Via di Barbiano 1/10, 40136 Bologna, Italy, Tel. +39 051 6366522, Fax +39 051 6366561, E-mail: leardini@ior.it

Vittorio Cafaggi

Workair: l'air bag "intelligente" per la protezione dei lavoratori in altezza

D Airlab / Dainese

RIASSUNTO. Dall'ultimo rapporto INAIL del 2017 in Italia nel quinquennio 2008-2012 sono stati denunciati 535 casi di cadute dall'alto e le cadute dall'alto rappresentano, sempre in Italia, circa un terzo degli infortuni mortali sui luoghi di lavoro. Anche negli Stati Uniti gli incidenti da cadute dall'alto sono molto rilevanti, in particolare nel settore delle costruzioni, con incidenze pari a 9,9 casi mortali ogni 100 mila addetti; è il più alto numero di morti in termini assoluti rispetto agli altri settori nel 2009.

Workair è un Dispositivo di Protezione Individuale dedicato ai lavoratori in altezza, basato sulla speciale tecnologia airbag sviluppata Dainese e chiamata D-air® che è in grado di rilevare, attraverso un appropriato sistema elettronico, le situazioni di pericolo e attivarsi proteggendo il corpo di chi lo indossa, senza che quest'ultimo debba in alcun modo intervenire. Per questo è chiamato il "Vestito Intelligente". Il progetto prevede la realizzazione di un corpetto protettivo dotato di airbag D-air® posti a protezione della schiena e del torace dell'operatore in caso di cadute non assicurate da un metro a due metri e cadute assicurate sopra i due metri, nel qual caso l'attenzione è posta sugli urti da "pendolamento". Per la realizzazione di Workair D Airlab/Dainese collabora con Enel e Delta Plus, con l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna nella persona del Prof. Francesco Saverio Violante, con l'Unità Operativa di Medicina del Lavoro del Policlinico Universitario Sant'Orsola/Malpighi nelle persone della Dott.ssa Maria Concetta Nucci e del Dott. Vittorio Lodi e con l'IRCCS delle neuroscienze di Bologna, Dott. Nicola Acciarri. Gli aspetti relativi alla certificazione sono seguiti da Dolomiti Cert.

Parole chiave: sicurezza sul lavoro, cadute, airbag, vestito intelligente, D Airlab.

ABSTRACT. WORKAIR: THE "INTELLIGENT" AIRBAG FOR PROTECTING HEIGHT WORKERS. The most recent report of the Italian National Institute for Insurance against Accidents at Work, published in 2017, reveals 535 cases of falls from a height were reported nationally between 2008 and 2012, and that falls from a height account for approximately one third of fatal accidents at work in Italy. Accidents involving falls from a height are just as frequent in the United States, particularly in the construction sector, with 9.9 fatal cases for every 100 workers, and the greatest overall number of total deaths of any sector in 2009.

Workair is a dedicated Personal Protective Equipment for height workers that is based on a special airbag technology developed by Dainese. This technology, called D-air®, uses a sophisticated electronic system to detect danger situations and deploy the airbag to protect the wearer's body without the latter needing to take any action whatsoever. That's why it's called "Intelligent Clothing".

Premesse

Oggi i Dispositivi di Protezione Individuale e Anticaduta, forniscono al lavoratore in quota strumenti di sicurezza che, laddove adottati come previsto dalla legislazione, hanno dimostrato di svolgere un ruolo significativo nella prevenzione dei traumi da caduta.

Le statistiche ci suggeriscono, tuttavia, che sarebbe opportuno migliorare ulteriormente la sicurezza del lavoratore in quota e la tecnologia airbag, opportunamente declinata per questo tipo di impiego, può essere la risposta a questa esigenza.

Dall'ultimo rapporto INAIL del 2017 in Italia nel quinquennio 2008-2012 sono stati denunciati 535 casi di cadute dall'alto. Il settore di attività maggiormente colpito è quello delle costruzioni con oltre il 65% degli eventi accaduti, seguito, a debita distanza, dall'agricoltura con circa l'11%.

Il luogo in cui più frequentemente si verificano le cadute dall'alto è il cantiere con il 52,4% degli incidenti. Le cadute dall'alto rappresentano in Italia circa un terzo degli infortuni mortali sui luoghi di lavoro. Anche negli Stati Uniti gli incidenti da cadute dall'alto sono molto rilevanti, in particolare nel settore delle costruzioni, con incidenze pari a 9,9 casi mortali ogni 100 mila addetti è il più alto numero di morti in termini assoluti rispetto agli altri settori nel 2009.

La prima causa di morte nel settore è la caduta (32% dei casi), che è anche la seconda causa di infortunio. Il costo totale degli infortuni nel comparto delle costruzioni è stimabile intorno ai 13 miliardi di dollari all'anno (Occupational Safety & Health Administration); i casi mortali rappresentano il 40% del totale dei costi: in media la morte di un lavoratore del settore delle costruzioni è valutata intorno ai 4 milioni di dollari, mentre gli infortuni non fatali con giorni di assenza hanno un costo approssimativo di 42.000 dollari.

Queste stime includono i costi diretti (cure ospedaliere, medicinali), i costi indiretti (perdita di stipendio, perdita di produzione, costi amministrativi per la compensazione del lavoratore), i costi legati alla qualità della vita (danno morale, biologico o esistenziale per il lavoratore e la sua famiglia a seguito dell'incidente).

The design features a protective vest equipped with D-air® airbags positioned to protect the worker's back and chest in the event of free falls of between one and two metres, and restrained falls of more than two metres, in which case attention is focused on impacts from "swinging".

The project to create Workair sees D-Airlab/Dainese collaborating with ENEL and Delta Plus, Prof. Francesco Saverio Violante of the University of Bologna, Dr. Maria Concetta Nucci and Dr. Vittorio Lodi of the Occupational Medicine Unit of the Sant'Orsola/Malpighi Teaching Hospital in Bologna, and Dr. Nicola Acciarri of the Bologna Neuroscience Research Hospital. Certification-related matters are being handled by Dolomiti Cert.

Key words: occupational safety, falls, airbag, intelligent clothing, D-Air Lab.

Il vestito intelligente

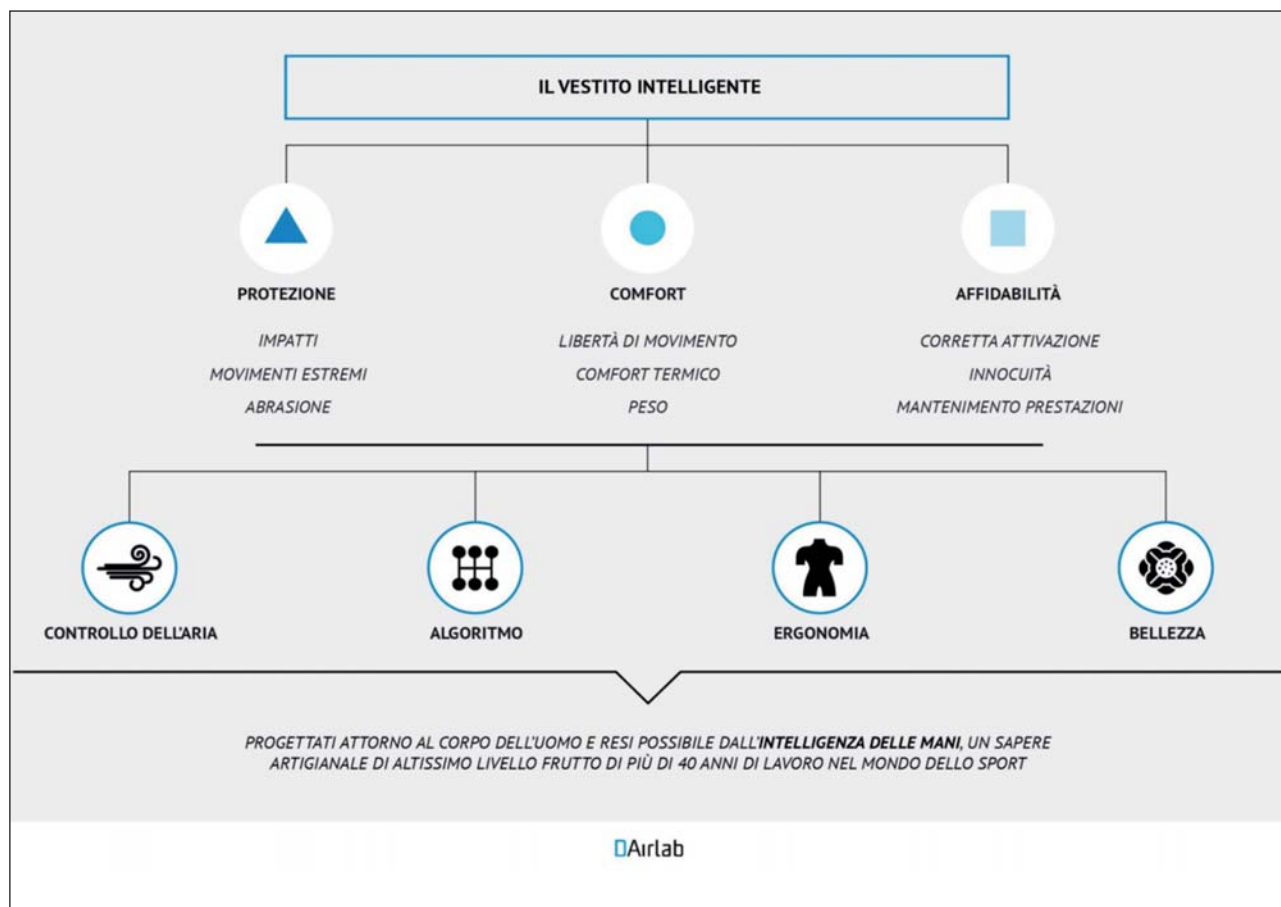
Il "Vestito Intelligente" è un Dispositivo di Protezione Individuale basato sulla tecnologia airbag in grado di rilevare, attraverso un appropriato sistema elettronico, le situazioni di pericolo e attivarsi (per proteggere) proteggendo il corpo di chi lo indossa senza che quest'ultimo debba in alcun modo intervenire.

Sebbene il vestito intelligente impieghi la tecnologia airbag, esso presenta consistenti differenze rispetto ai sistemi automotive, i quali sono progettati per essere installati sul veicolo e non a contatto con il corpo umano.

Trasferire gli airbag dall'auto all'uomo ha richiesto, infatti, una profonda riprogettazione sia della parte pneumatica (sacchi e generatori di gas), sia di quella elettronica (hardware e algoritmo di attivazione).

Per quanto riguarda la parte pneumatica, il problema principale ha riguardato la necessità di individuare le modalità che consentissero di gonfiare un sacco molto vicino al corpo in tempi estremamente rapidi, senza che questo provocasse un trauma anziché proteggere. Il sottosistema elettronico (HW + Algo) ha dovuto essere progettato per poter essere indossato e per individuare dinamiche d'incidente ben più complesse di un urto o di un ribaltamento. Il processo di ricerca e sviluppo è durato più di 10 anni, al termine dei quali il primo è nato il primo airbag per il corpo umano, dotato di una sezione pneumatica (generatore di gas + attivatore + sacco) capace di gonfiarsi molto rapidamente in modo controllato nella forma e nello spessore, e restare gonfio per un numero minimo di secondi e di un sistema elettronico (hardware + algoritmo) per la quale si è resa necessaria l'adozione di set di sensori più esteso e di un algoritmo di tipo "predittivo", ovvero in grado di prevedere l'incidente basandosi sulle sue dinamiche prodromiche.

A completamente dell'impianto tecnologico del D Air®, è stato inoltre introdotto il fondamentale requisito dell'innocuità: l'airbag che si gonfia è un evento che, pur controllato, implica un cambiamento di stato improvviso che non deve causare traumi o perdita di controllo da parte di chi lo indossa. Sono quindi stati effettuati una lunga



serie di test per verificare, ad esempio, che il gonfiaggio non provocasse contraccolpi alla testa se inclinata o, qualora inaspettato, causasse la perdita di controllo del veicolo.

D Air®: il vestito intelligente per la protezione di piloti e atleti

L'insieme delle caratteristiche originali e innovative sopra descritte hanno dato vita al "Vestito Intelligente" che ha visto la sua prima applicazione per il motociclismo

in pista nel 2010, con il D Air® Racing indossato da grandi Campioni come Max Biaggi e Valentino Rossi, seguito dal D Air® Street per l'impiego motociclistico stradale adottato anche da famose case costruttrici e dal D Air® Ski, dedicato alle competizioni di sci alpino e impiegato da Campioni olimpici del calibro di Sofia Goggia e Matthias Mayer.

L'efficacia del sistema ha convinto la Federazione Internazionale di Motociclismo a rendere obbligatorio da quest'anno l'impiego dell'airbag per le gare di Campionato del Mondo Velocità della MotoGP.

D AIR STREET



D AIR RACING



D AIR SKI



Il D Air® dalle piste al mondo del lavoro

La realizzazione e la produzione del D Air® sono state possibili grazie alle soluzioni pneumatiche ed elettroniche individuate, ma senza l'accurato studio sull'ergonomia e sul comfort che le ha accompagnate, non sarebbe stato possibile garantirne la diffusione, specie tra piloti e atleti notoriamente molto esigenti da questi punti di vista.

Questo patrimonio di conoscenze è apparso interessante e applicabile anche ad attività che, sebbene non afferenti al mondo dello sport, evidenziavano esigenze di protezione, ergonomia e comfort molto simili. Il mondo del lavoro e, in particolare, quello della protezione dei lavoratori in quota è stato uno dei primi ambiti ad essere stato preso in considerazione proprio per la particolare similitudine tra le condizioni d'incidente e le esigenze di chi impiega la protezione. A questo scopo è stata fondata D Airlab, la start up innovativa fondata da Lino Dainese e collegata a Dainese S.p.A., il cui compito è di esplorare e investigare applicazioni della tecnologia D Air® ad attività umane diverse dallo sport.

La conferma della fondatezza di questa nuova applicazione è giunta da Enel, una delle più importanti aziende italiane che ha dato impulso al progetto, chiedendo una collaborazione per lo studio di una protezione airbag per la per i suoi tecnici che operano in altezza e da Delta Plus

uno dei maggiori produttori mondiali di DPI e sistemi anticaduta per lavoratori.

Nasce così il progetto Workair, animato da una "Task Force" che, oltre a D Airlab/Dainese Enel e Delta Plus, vede tra i protagonisti l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna nella persona del Prof. Francesco Saverio Violante, l'Unità Operativa di Medicina del Lavoro del Policlinico Universitario Sant'Orsola/Malpighi nelle persone della Dott.ssa Maria Concetta Nucci e del Dott. Vittorio Lodi e l'IRCCS delle neuroscienze di Bologna, Dott. Nicola Acciarri. A completare il team Dolomiti Cert, uno dei pochissimi enti notificati in Europa ad aver competenze nell'ambito della certificazione sia di prodotti anticaduta, sia di airbag.

Il progetto Workair: le specifiche tecniche, le attività e i prototipi

Il progetto prevede la realizzazione di un corpetto protettivo basato sulla tecnologia D Air® che ha l'obiettivo iniziale di proteggere la schiena e il torace dell'operatore dalle conseguenze di cadute non assicurate da un metro a due metri e cadute assicurate sopra i due metri, nel qual caso l'attenzione è posta sugli urti da "pendolamento" del lavoratore appeso al cavo di sicurezza contro ostacoli sottostanti l'area di lavoro. Si tratta di un primo passo pensato in questi termini per limitare la complessità, il peso,



il costo del sistema, e rendere più agevole l'accettazione e quindi l'utilizzo da parte dei lavoratori. I tempi totali di intervento (attivazione + gonfiaggio) devono essere compatibili con questi scenari. Il DPI ha preso la forma di un gilet da indossarsi sotto l'imbracatura, presenta quindi delle aperture per consentire all'operatore di collegarsi ai sistemi anticaduta.

Le fasi di sviluppo e test sono le seguenti, sono iniziate a novembre 2016 e se ne prevede il completamento entro dicembre 2019 circa.

1. Definizione dati e requisiti di base.
2. Disegni prototipi e approvazione.
3. Progettazione catena pneumatica e simulazione con analisi agli elementi finiti per stabilire dimensioni, spessori e pressioni operative del sacco.
4. Programmazione del sacco e produzione primi prototipi.
5. Test di impatto per prima verifica delle prestazioni.
6. Progettazione e modellazione parte tessile.
7. Realizzazione primi prototipi per test ergonomici ed effettuazione test per verifica di:
 - a. Verifica ergonomia.
 - i. Libertà di movimento durante le operazioni.
 - ii. Posizionamento elettronica.
 - iii. Posizionamento generatore di gas.
 - b. Verifica comfort, con particolare attenzione alla temperatura.
8. Modifiche e nuovi test ergonomici di verifica.
9. Realizzazione di prototipi dimostratori con elettronica e algoritmo provvisori.
10. Test e approvazione dimostratore.
11. Campagna raccolta dati per progettazione algoritmo di attivazione:
 - a. Test strumentati con simulazione cadute con stuntman.
 - b. Campagna raccolta dati, con i primi 20 prototipi equipaggiati con sistema di rilevamento dati.
12. Progettazione Algoritmo e firmware.
13. Progettazione hardware e contenitore.
14. Progettazione cablaggi (accensione/spegnimento, led di status).
15. *Alfa test internazionale con 80 prototipi completi di Hardware e Algoritmo ma generatore di gas non collegato.*
16. *Modifiche tecniche.*
17. *Beta test SISTEMA COMPLETO E FUNZIONANTE.*
18. *Certificazioni.*

In corsivo le fasi ancora da espletare.





Workair: le caratteristiche tecniche

Ad oggi Workair presenta le seguenti caratteristiche:

SISTEMA PNEUMATICO:

- Sacchi dotati di filamenti interni per il controllo dello spessore massimo che può essere differenziato nei diversi punti del corso e in grado di assumere una forma anatomica una volta gonfiati.
- Generatori di gas a tecnologia “fredda”, ovvero che impiegano gas in pressione alla temperatura ambiente per il gonfiaggio. Altri tipi di generatori ottengono il gonfiaggio scaldando rapidamente l’aria mediante una reazione chimica che genera molto calore (più di 200 gradi centigradi) che potrebbe essere pericoloso per il corpo della persona. Inoltre il rapido raffreddamento del gas porterebbe ad un rapido calo della pressione che ridurrebbe drasticamente le capacità protettive del sistema negli urti ripetuti. Il generatore di gas è totalmente integrato nel sacco.
- Attivatore pirotecnico per l’apertura del generatore di gas, leggero, veloce e affidabile.

SISTEMA ELETTRONICO:

- Hardware dotato di piattaforma inerziale (tre girometri e tre accelerometri) e dotato di predisposizione per modulo Blue Tooth. L’elettronica è altresì predisposta per l’integrazione con una scheda aggiuntiva per l’e-call d’emergenza.
- Firmware di gestione sistema che incorpora l’algoritmo di attivazione appositamente progettato.
- Sistema di accensione/spegnimento, verifica funzionalità e carica batteria tramite led di segnalazione.

SUPPORTO TESSILE:

- Tessuti ampiamente ventilati e dotati di inserti distanziatori 3d nelle aree più calde.
- Sistema di accensione/spegnimento integrato nella chiusura anteriore.

PESO DEL SISTEMA:

Allo stato evolutivo attuale il sistema ha un peso di 1,1 Kg.

VERSIONI:

Sono attualmente allo studio due versioni: una da indossare sopra l’imbracatura e inserita in un supporto di tipo tessile e un’altra concepita per l’impiego sotto l’imbracatura e non inserita in un supporto tessile con il sacco che fa anche da supporto per l’elettronica i cablaggi e i sistemi di chiusura e di regolazione della vestibilità.

WORKAIR: LA TASK FORCE DI PROGETTO



PARTNER MEDICO SCIENTIFICI:



Prof. Francesco Saverio Violante



*Dott.ssa Maria Concetta Nucci
Dott. Vittorio Lodi*



Dott. Nicola Acciarri

PARTNER PROGETTUALI



PARTNER INDUSTRIALI:



CERTIFICAZIONI:



*Dolomiti Cert,
test e certificazioni*

INFORMAZIONI PER GLI AUTORI GIMLE

Al fine di sottoporre un articolo al GIMLE, è sufficiente scrivere all'indirizzo di posta elettronica della segreteria editoriale (enrico.oddone@unipv.it). In allegato a questa dovranno pervenire:

- A) Testo del lavoro, in formato word. L'articolo, redatto in italiano o in inglese, dovrà necessariamente contenere:
 - 1) Titolo per esteso in italiano e in inglese.
 - 2) Nomi degli autori per esteso.
 - 3) Affiliazione per ogni singolo autore.
 - 4) Indicazione dell'autore per la corrispondenza di cui dovranno essere forniti un indirizzo, un numero di telefono e un indirizzo di posta elettronica.
 - 5) Riassunto in italiano e in inglese.
 - 6) 1-5 parole chiave, in italiano ed in inglese.
- B) File word contenente le eventuali tabelle, numerate progressivamente con numeri romani, ciascuna in una singola pagina.
- C) File delle figure, ove presenti.

La bibliografia è a cura degli autori e dovrà essere presentata:

- A) Nel testo con numeri arabi entro parentesi tonde seguendo l'ordine di comparsa nell'articolo (ad esempio: (1), (2), ecc.). In caso sia necessario introdurre più di una indicazione bibliografica alla volta, queste dovranno essere separate da una virgola (1, 4, 7) ovvero, in caso di citazioni continue, da un trattino (2-5).
- B) In fondo al testo in ordine di apparizione nell'articolo, con indicazione del numero di riferimento. Nel caso vi siano più di tre autori, al nome del terzo autore andrà fatta seguire la dicitura *et al.* Ad esempio:
 - 2) Rossi O, Loi AM. Communication of chemical and carcinogen risk at refinery maintenance companies. G Ital Med Lav Ergon 2006; 28(2): 225-6.
 - 5) Rossi O, Turini L, Chellini E, *et al.* Survey on health status of workers exposed in the past to carcinogens in a glass factory in Leghorn, Italy. Med Lav 2004; 95(6): 465-74.

GIORNALE ITALIANO DI MEDICINA DEL LAVORO ED ERGONOMIA

VOLUME XL - N. 3

LUGLIO-SETTEMBRE 2018

81° Congresso Nazionale SIML
Società Italiana di Medicina del Lavoro

**La Medicina del Lavoro:
dalla prevenzione
alla promozione della salute**

Bari, 26-28 settembre 2018

Editors:

**Leonardo Soleo, Pietro Apostoli,
Piero Lovreglio, Giovanna Spatari,
Luigi Vimercati, Francesco Saverio Violante**

RELAZIONI SESSIONI PLENARIE

**SESSIONE PLENARIA - Industria siderurgica:
rischio occupazionale ed impatto ambientale**

C. MAPELLI, S. BARELLA, D. MOMBELLI, A. GRUTTADAURIA
**Il ciclo integrato di produzione dell'acciaio
e le fonti inquinanti**

D. COTTICA, E. GRIGNANI, G. DE PALMA, P. LOVREGGIO
**Il rischio chimico e cancerogeno nell'industria
siderurgica**

**P. LOVREGGIO, L. SOLEO, L. GRECO, C. MARANGELLA,
I. DRAGO, G. DE PALMA, P. APOSTOLI**
**Monitoraggio dell'esposizione ad elementi
metallici nello stabilimento siderurgico
di Taranto**

**D.M. CAVALLO, A. SPINAZZÈ, A. CATTANEO,
J. FOSTINELLI, P. APOSTOLI, P. LOVREGGIO, L. SOLEO**
Environmental impact of steel production process

**SESSIONE PLENARIA - Il lavoro come promozione
della salute**

P. SARTORELLI, G. D'HAUW, V. PAOLUCCI
**La salute dell'individuo al lavoro:
dalla prevenzione alla promozione della salute**

M.M. FERRARIO, R. BORCHINI
**Dalla *Work Health Promotion* alla *Total Worker
Health*, quale contributo del medico del lavoro?**

G. LOGROSCINO, C. ZECCA
**Occupational exposures, biomarkers
and neurodegenerative diseases**

**N. SCIALPI, M. SANGINETO, M. PIGLIONICA,
L. DE MARIA, P. LOVREGGIO, L. VIMERCATI,
C. SABBÀ, L. SOLEO, A. MOSCHETTA**
Sindrome metabolica e lavoro

S. CAPUTO
Diabete e lavoro

**SESSIONE PLENARIA - Metodi avanzati di valutazione
del rischio e protezione dei lavoratori**

L. CHIARI, A. FERRARI
**Monitoring human activities that might cause
work-related musculoskeletal disorders
by means of inertial and magnetic sensors**

**A. GIANGRANDE, A. LEARDINI, G. LULLINI, F.S. VIOLANTE,
L. BERTI, R. BONFIGLIOLI, P. CARAVAGGI**
**Uso di solette sensorizzate per la registrazione
della movimentazione manuale di carichi**

V. CAFAGGI
**Workair: l'air bag "intelligente" per la protezione
dei lavoratori in altezza**