



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Unità Sanitaria Locale di Parma



*Associazione Parmense
dei Medici del Lavoro*

VADEMECUM DI SPIROMETRIA per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori

**FRANCO ROSCELLI
ANDREA INNOCENTI
AUGUSTO QUERCIA**

Franco Roscelli

Dipartimento di Sanità Pubblica, Coordinatore Progetto Tabagismo,
Azienda USL di Parma
froscelli@ausl.pr.it

Andrea Innocenti

Direttore U.F. Prevenzione Igiene e Sicurezza nei luoghi di lavoro,
Azienda USL 3 Pistoia
a.innocenti@usl3.toscana.it

Augusto Quercia

Direttore U.O.C. Prevenzione Igiene e Sicurezza nei luoghi di lavoro,
Azienda USL Viterbo
augusto.quercia@asl.vt.it

© 2011 Azienda USL Viterbo (U.o.c. Prevenzione Igiene e Sicurezza nei luoghi di lavoro)

Progetto grafico: ing. Giancarlo Napoli (U.o.c. Prevenzione Igiene e Sicurezza nei luoghi di lavoro)

Stampa: Tipografia Ceccarelli – Grotte Di Castro (Viterbo)

In copertina:

Spirometro. Incisione tratta da: John Hutchinson. On the capacity of the lungs, and on the respiratory functions, with a view of establishing a precise and easy method of detecting disease by the spirometer. Medico-surgical transactions 1846; 29: 137-252.

Bronchi e bronchioli. Litografia tratta da: Henry Gray. Anatomy of the Human Body. Philadelphia: Lea & Febiger, 1918; Bartleby.com, 2000 www.bartleby.com/107/.

Indice

Premessa

1 - Introduzione	1
2 - Strumentazione	3
3 - Gestione dell'ambulatorio	4
4 - Esecuzione della manovra di espirazione forzata	6
5 - Validità dell'esame spirometrico	6
6 - Criteri di accettabilità	7
7 - Criteri di ripetibilità	16
8 - Presentazione dei risultati della spirometria	17
9 - La scelta dei valori di riferimento	17
10 - Interpretazione della spirometria	19
11 - Esempio di scheda di registrazione dei dati	26

Premessa

Le varie definizioni di sorveglianza sanitaria presenti nella letteratura scientifica, enfatizzano l'importanza dell'osservazione longitudinale nel singolo lavoratore e nel gruppo omogeneo, finalizzata alla necessità di rilevare quanto più precocemente possibile ogni variazione dello stato di salute. Tali definizioni implicano la necessità di raccogliere in forma organizzata i dati rilevati e di analizzarli nel corso del tempo. Un atteggiamento ben diverso da quello troppo spesso riscontrato nella pratica del medico competente (dove l'obiettivo finale della sorveglianza sanitaria sembra essere la “formulazione del giudizio di idoneità alla mansione specifica”), basato sull'osservazione di un valore puntuale, rilevato sì anno per anno ma raramente analizzato in sequenza.

Nella sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a tossici respiratori la spirometria è l'esame che, più di altri, permette di rispondere alle esigenze di monitoraggio di importanti parametri funzionali: è un esame incruento, i parametri funzionali misurati hanno una grande stabilità, sono ripetibili nella stessa sessione di prove e sono riproducibili a distanza di tempo. Proprio in virtù di queste caratteristiche consente di apprezzare variazioni precoci della funzione ventilatoria, a condizione però che l'esame venga eseguito nel rispetto dei criteri di buona pratica (Linee guida).

Per questi motivi ci è sembrato importante predisporre un corso sulla corretta esecuzione e interpretazione della spirometria, richiamando l'attenzione alla buona pratica e al rifiuto di ogni approccio formalistico alla sorveglianza sanitaria dei lavoratori. Il materiale didattico del corso è raccolto nel volume “Appunti di spirometria”, giunto alla seconda edizione; questo vademecum è una sintesi di quei materiali, utile da tenere nella borsa del medico del lavoro per la consultazione rapida, sul campo.

VADEMECUM DI SPIROMETRIA

per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori

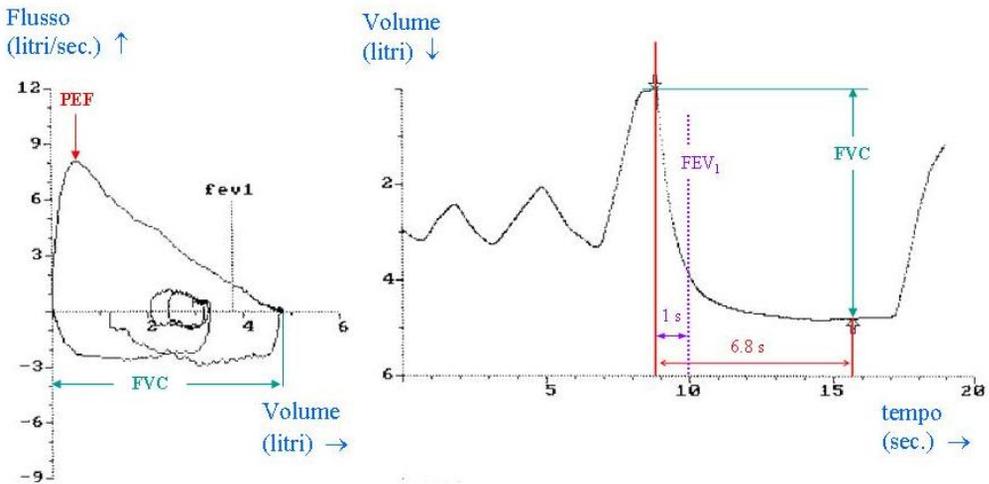
1. Introduzione

Il termine spirometria è convenzionalmente considerato sinonimo di misure derivate dall'esecuzione di manovre di espiratorie forzate. I parametri ottenibili sono i volumi polmonari dinamici: Capacità Vitale lenta (CV), Capacità Vitale Forzata (CVF), Volume Espiratorio Massimo al primo Secondo (VEMS) e il rapporto VEMS/CV %. Questi sono denominati rispettivamente *Vital Capacity* (VC), *Forced Vital Capacity* (FVC), *Forced Expiratory Volume in one second* (FEV₁) e FEV₁/VC % *ratio* dagli autori anglosassoni. Inoltre, con la registrazione flusso-volume della espirazione forzata si determinano i flussi espiratori massimali all'inizio dell'espirazione (Picco Espiratorio di Flusso: PEF) e a diversi volumi polmonari (rispettivamente al 25, 50 e 75 per cento della CVF: FEF₂₅, FEF₅₀, FEF₇₅).

Questi parametri sono alla base della sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a rischio respiratorio, in quanto permettono di identificare l'esistenza di un deficit funzionale di tipo ostruttivo e di suggerire un deficit di tipo restrittivo o misto. La ripetizione periodica della spirometria consente, inoltre, di seguire nel tempo l'andamento della funzione ventilatoria.

Nella figura 1 viene esemplificata la rappresentazione grafica delle curve Volume-tempo (V/t) e Flusso-Volume (F/V). Nel primo caso sono rappresentati il valore in litri del volume complessivo espirato (sull'ordinata) e il tempo in secondi dall'inizio della prova (in ascissa). L'altra curva riporta i valori istantanei di flusso (in litri al secondo) e il contemporaneo volume polmonare (in litri), rispettivamente sull'asse y e x; nel grafico cartesiano bidimensionale non è presente il tempo, che dovrebbe essere rappresentato nell'asse z.

Figura 1 - Curve Flusso-Volume (sinistra) e Volume-tempo (destra)



Si tratta di un esame - apparentemente - di semplice effettuazione; in realtà differisce da molte altre indagini mediche, in quanto la validità dei suoi risultati dipende dal rispetto di diversi fattori. Infatti, è richiesta una stretta cooperazione tra lavoratore e sanitario esaminatore, oltre al rispetto di requisiti di qualità nella strumentazione e di protocolli operativi standardizzati nell'esecuzione delle manovre respiratorie.

Se qualcuno di questi fattori è assente, i risultati possono essere falsamente aumentati o ridotti. Questo può avere un impatto rilevante sull'interpretazione delle prove di funzionalità respiratoria dei lavoratori, che può portare a conclusioni scorrette.

Il presente documento presenta sinteticamente i criteri per la standardizzazione della tecnica di esecuzione della spirometria. Vengono anche fornite indicazioni per la corretta interpretazione dei valori di volume e flusso polmonare delle spirometrie effettuate ai fini della sorveglianza sanitaria nei luoghi di lavoro. La finalità prettamente didattica, rivolta ai medici del lavoro, rende ragione di alcune semplificazioni presenti nella trattazione. Il vademecum si basa essenzialmente su due fonti bibliografiche:

- la serie *ATS/ERS Task Force: Standardisation of lung function testing*, in particolare le considerazioni generali sui test di funzionalità polmonare, le raccomandazioni sulla standardizzazione della spirometria e le strategie di interpretazione dei test;
- le Linee Guida SIMLII per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti ad agenti irritanti e tossici per l'apparato respiratorio.

Si fa riferimento, inoltre, al materiale didattico dei corsi tenuti dagli autori in varie regioni dal 2008 al 2010, predisposti sulla falsariga dello *Spirometry Training Program* del NIOSH.

2. Strumentazione

Gli spirometri si dividono in due grandi categorie: quelli con segnale primario di volume, cioè spirometri a circuito chiuso (campane ad acqua, a pistone, a soffietto) e quelli con segnale primario di flusso (a circuito aperto) da cui vengono derivati i volumi (pneumotacografi, ventole, ...).

I primi sono meno soggetti a errore, in quanto eseguono direttamente la misura dei volumi derivandone i flussi, ma hanno dimensioni maggiori che ne ostacolano la portabilità.

Negli apparecchi portatili (misuratori primari di flusso) un programma di elaborazione interna trasforma il segnale di flusso in segnale di volume (flusso = volume/tempo; volume = flusso×tempo): le caratteristiche intrinseche di questi strumenti (come l'inerzia della turbina), le vibrazioni, gli urti durante il trasporto, possono alterare sensibilmente l'accuratezza delle loro misure.

Le raccomandazioni ATS/ERS e una recente norma tecnica (UNI EN ISO 26782:2009) stabiliscono i requisiti minimi che gli spirometri devono rispettare per garantire la correttezza delle misure. È fortemente raccomandato che tutti gli spirometri utilizzati in medicina del lavoro siano corredati di una certificazione di conformità del produttore, attestante la rispondenza della strumentazione a tali requisiti minimi.

Rimandando per i dettagli alle pubblicazioni originali, si possono fornire alcune esemplificazioni:

- rispetto dei criteri di qualità relativi a resistenza del circuito (<1.5 cm H₂O per litro al secondo), accuratezza, precisione, linearità e risoluzione dei segnali di flusso e di volume, etc;
- idonea presentazione grafica delle curve volume-tempo e flusso-volume sia nello schermo che nella stampa cartacea (tabella 1);
- possibilità di salvare tutti i dati delle prove eseguite dal lavoratore, con un minimo di 8 per sessione;
- possibilità di stampare un rapporto contenente tutte le curve volume-tempo e flusso-volume e tutti i valori delle prove eseguite o almeno delle tre migliori;
- registrazione permanente nello strumento delle tarature e dei controlli di taratura effettuati.

Tabella 1 – Dimensioni minime per una idonea presentazione grafica delle curve volume-tempo e flusso-volume (da Maestrelli 2010)

M.R. Miller et al. Eur Respir J 2005; 26 pag 322 Fattori minimi di scala raccomandati per il volume, il flusso ed il tempo nell'output grafico nel monitor del computer e nella copia cartacea				
Parametro	Monitor del computer		Copia cartacea	
	Risoluzione richiesta	Fattore di scala	Risoluzione richiesta	Fattore di scala
Volume *	0.050 L	5 mm.L ⁻¹	0.025 L	10 mm.L ⁻¹
Flusso *	0.200 L.s ⁻¹	2.5 mm.L ⁻¹ .s ⁻¹	0.100 L.s ⁻¹	5 mm.L ⁻¹ .s ⁻¹
Tempo	0.2 s	10 mm.s ⁻¹	0.2 s	20 mm.s ⁻¹

*: il corretto rapporto tra segnale di flusso e di volume è di 2 unità di flusso e una di volume

Gli standard ATS/ERS prevedono un adeguato controllo di qualità degli strumenti con periodiche verifiche, da giornaliere a settimanali a trimestrali, del volume e dei flussi e della loro linearità in un range compreso tra 0 e 8 litri per il volume e tra 0 e 14 litri per secondo per il flusso. Viene raccomandato che il controllo di taratura degli spirometri portatili venga eseguito giornalmente e comunque dopo ogni trasporto, utilizzando una siringa da 3 litri.

Anche gli strumenti a circuito chiuso devono essere verificati quotidianamente, per verificare eventuali perdite dal circuito applicando una pressione costante di 3 cm H₂O al sistema.

Per garantire la confrontabilità delle misure i volumi vanno riportati alle condizioni corporee, BTPS (Body Temperature Pressure Saturated) a partire dalla pressione barometrica e dalla temperatura ambientale e/o della campana spirometrica, che deve essere rilevata con l'accuratezza di ± 1 grado centigrado. Questa correzione viene fatta automaticamente dalla maggior parte degli strumenti che possiedono un idoneo software di calcolo oppure il fattore di correzione può essere desunto da apposite tabelle BTPS.

3. Gestione dell'ambulatorio e del lavoratore

L'ambulatorio all'interno del quale viene effettuato l'esame spirometrico deve essere un ambiente tranquillo, di cui si conoscano temperatura, pressione atmosferica e umidità relativa, fattori fisici che hanno una ripercussione diretta sui

gas.

La temperatura, inoltre, deve essere adeguata e confortevole, per consentire al soggetto esaminato di indossare indumenti leggeri che non ostacolino l'espansione della gabbia toracica.

L'altezza (ed eventualmente il peso) deve essere rilevata personalmente dall'operatore e non riferita dal soggetto da esaminare; insieme alla data di nascita e all'etnia di provenienza è necessaria per ottenere i valori teorici di riferimento. Nella pratica conviene, dopo i 25 anni e fino a 50-60 anni, non misurare più l'altezza ad ogni successivo controllo ma tenere per buona quella misurata correttamente alla prima visita. È preferibile, infatti, un errore sistematico di un centimetro piuttosto che aumenti di statura improvvisi a 40 anni (non ci capiremmo più nulla sull'andamento della funzionalità polmonare).

Per contestualizzare gli esiti dell'esame è importante raccogliere tra i dati anamnestici anche informazioni sull'abitudine al fumo o sulla recente assunzione di farmaci.

La principale controindicazione all'esecuzione della spirometria eseguita sul luogo di lavoro è l'emottisi. Altre condizioni (pneumotorace, recente intervento addominale o toracico, trauma al torace, recente intervento agli occhi, infarto miocardico acuto entro 3 mesi, angina instabile, aneurisma toracico) sono controindicazioni importanti soprattutto in clinica.

Il lavoratore deve essere preventivamente informato sulle condizioni per la riuscita ottimale dell'esame spirometrico: non effettuare sforzi intensi nei 30 minuti precedenti la prova; non fumare almeno un'ora prima; non consumare un pasto abbondante almeno 2 ore prima e non bere alcol almeno 4 ore prima. Inoltre, anche se nel normale la variazione circadiana non ha grandi influenze sul risultato, è consigliabile eseguire la spirometria al mattino, tra le ore 9 e le 12,30. Una valida alternativa, per la ottimizzazione dei tempi, è di organizzare il lavoro in modo tale che, nei controlli periodici, lo stesso soggetto effettui le prove sempre al mattino o sempre al pomeriggio.

Le prove possono essere eseguite sia in posizione seduta che eretta; la posizione deve essere documentata nel referto e mantenuta nelle prove successive. In genere i lavoratori preferiscono la postura eretta, che favorisce anche valori più elevati di FVC, specialmente nei soggetti obesi. Tuttavia l'espiazione forzata diminuisce il ritorno venoso e può provocare vertigini o, raramente, una sincope. Per sicurezza si può collocare una sedia (senza ruote!) dietro il soggetto, che deve essere aiutato a sedersi appena compaia un malessere. Se il lavoratore ha una storia positiva per vertigini è raccomandata la posizione seduta.

Occorre assicurarsi che il soggetto mantenga il busto eretto con la muscolatura rilasciata e posizioni il boccaglio correttamente, per evitare perdite ai lati della bocca o di ostruire il foro con la lingua. È raccomandato l'uso di uno stringinaso.

L'operatore deve essere ben addestrato e in grado di fornire una semplice e breve spiegazione della finalità dell'esame e dell'importanza di una corretta

esecuzione della prova, descrivendo le modalità con espressioni chiare e termini semplici. Può essere utile, soprattutto per i lavoratori con scarsa conoscenza della lingua italiana, effettuare personalmente la manovra a scopo dimostrativo.

4. Esecuzione della manovra di espirazione forzata

Dopo le istruzioni preliminari si esegue la manovra secondo la sequenza:

- respirazione tranquilla a volume corrente;
- inspirazione massimale veloce e decisa (controllata sullo schermo o sul soggetto);
- comando semplice e breve (giù!!; fuori!!);
- espirazione massimale forzata, con inizio brusco a glottide aperta;
- espirazione completa e prolungata, per una durata minima di 6 secondi;
- inspirazione rapida e completa.

L'operatore deve seguire attentamente sia il tracciato che il soggetto che esegue l'esame, dando ordini precisi e chiari per ciascuna manovra, incoraggiando a proseguire nello sforzo muscolare, senza interruzioni e fino a completa espirazione.

Il controllo visivo del grafico flusso-volume e volume-tempo da parte dell'operatore durante lo svolgimento dell'esame è fondamentale per verificare elementi come la buona partenza, il picco di flusso, l'irregolarità nell'espirazione, eventuali colpi di tosse, ecc.

È buona norma determinare, oltre a FVC, FEV₁ e flussi espiratori forzati, anche i volumi e i flussi massimali ottenuti con manovre inspiratorie, che possono seguire e/o precedere l'esecuzione della FVC.

Se necessario, le prove saranno ripetute dopo aver spiegato come correggere gli errori commessi; tuttavia, è opportuno sospendere l'esame dopo 8 tentativi errati.

5. Validità dell'esame spirometrico

Le raccomandazioni ATS/ERS 2005 stabiliscono la validità di un esame spirometrico basandosi sul rispetto di due requisiti:

- a) almeno 3 curve esenti da difetti tecnici di esecuzione (definite curve "accettabili");
- b) valori di FVC e FEV₁ coerenti tra le curve (definiti risultati "ripetibili").

I criteri per stabilire la validità delle spirometrie sono sintetizzati nella tabella 2 e descritti più estesamente nei paragrafi successivi, con alcune esemplificazioni.

Tabella 2 – Criteri di validità ATS/ERS 2005

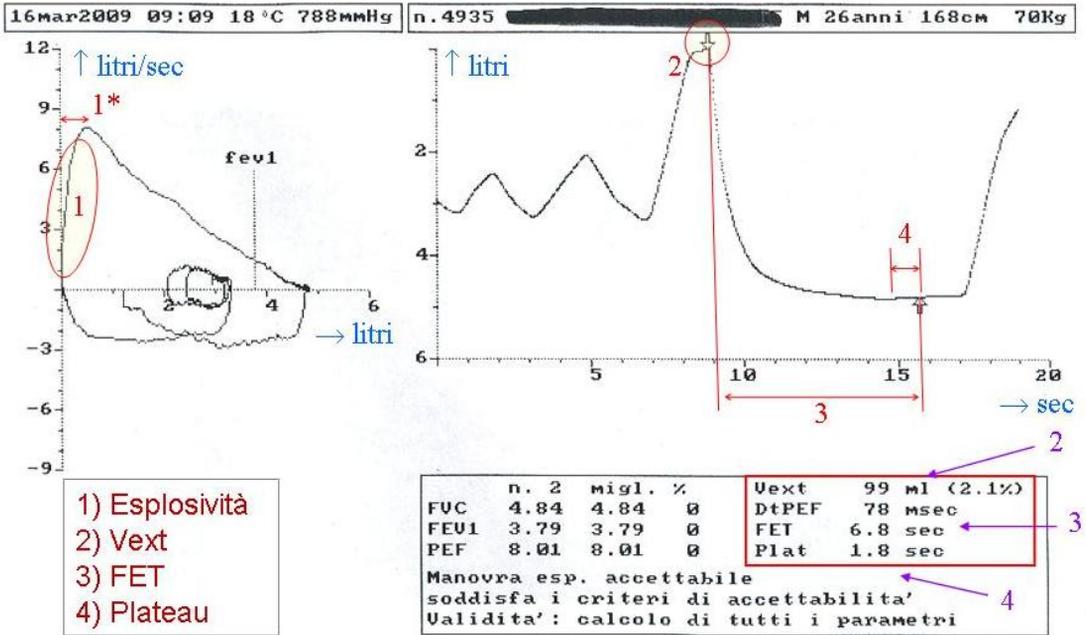
Accettabilità	<p>Per essere accettabile ogni manovra di espirazione forzata deve rispettare i seguenti criteri:</p> <ul style="list-style-type: none">• Buon inizio<ul style="list-style-type: none">- partenza esplosiva- volume estrapolato < 150 ml e/o < 5% di FVC• Svuotamento completo<ul style="list-style-type: none">- durata \geq 6 sec. e/o plateau finale nella curva V/t o impossibilità del soggetto a proseguire l'espirazione• Assenza di artefatti quali:<ul style="list-style-type: none">- inspirazione non massimale- tosse nel primo secondo- chiusura della glottide- interruzione precoce- sforzo submassimale o variabile- perdite del sistema- ostruzione del boccaglio
Ripetibilità	<ul style="list-style-type: none">• Dopo aver ottenuto 3 prove accettabili, applicare i seguenti criteri:<ul style="list-style-type: none">- differenza fra i due migliori valori di FVC \leq 150 mL- differenza fra i due migliori valori di FEV₁ \leq 150 mL• Se entrambi i criteri sono rispettati l'esame spirometrico può essere terminato• In caso contrario, eseguire altre prove fino a quando:<ul style="list-style-type: none">- sono rispettati entrambi i criteri con le nuove manovre espiratorie- viene raggiunto un totale di 8 manovre espiratorie- il soggetto non è più in grado di proseguire

6. Criteri di accettabilità

Per un esaminatore esperto, l'osservazione delle curve flusso-volume e volume-tempo, durante e subito dopo la prova, consente di valutare i caratteri che ne determinano l'accettabilità: inspirazione massimale, inizio esplosivo dell'espirazione e svuotamento completo dei polmoni.

Come illustrato nella figura 2, la curva F/V fornisce maggiori indicazioni per quanto riguarda l'accettabilità della prima parte della manovra di espirazione forzata, mentre la curva V/t è più informativa sull'ultima parte della stessa.

Figura 2 - Principali elementi da valutare per l'accettabilità della spirometria

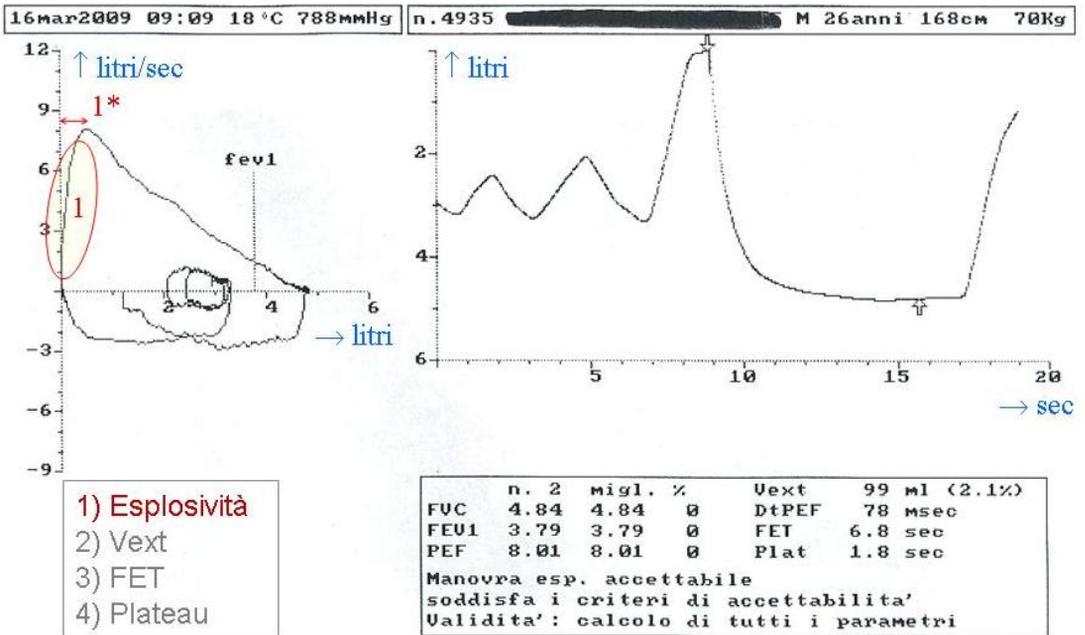


In dettaglio, la prova di capacità vitale forzata può essere considerata correttamente eseguita quando rispetta i criteri sotto indicati.

a) Esplosività dell'espirazione

Per valutare se l'avvio dell'espirazione forzata è avvenuto in maniera esplosiva e senza esitazioni si osserva la forma della curva flusso-volume: la manovra è accettabile visivamente se la curva sale rapidamente e il PEF è ben riconoscibile, con aspetto appuntito e non arrotondato (figura 3). Un debole inizio dell'espirazione altera il FEV₁ in misura significativa e può simulare erroneamente un quadro ostruttivo.

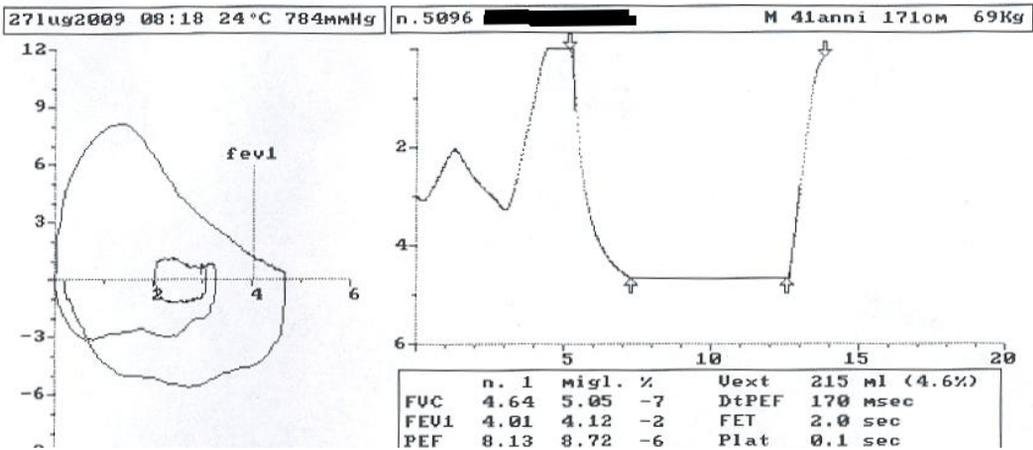
Figura 3 - Esempio di esplosività accettabile



Come già sottolineato, la validità della manovra dipende dalla collaborazione del soggetto che, all'inizio dell'espirazione, deve fare il massimo sforzo per buttar fuori l'aria alla massima velocità possibile. Dipende dall'operatore valutare l'impegno del soggetto e capire quale è il limite tra la sua volontà ed una eventuale patologia.

Il ritardo di volume al raggiungimento del PEF (1* in figura 3) è un robusto indicatore del ritardo temporale del PEF (DtPEF, osservabile nella curva flusso-tempo non raffigurata), che è correlato al volume estrapolato; consente quindi il controllo visivo della esplosività. Le raccomandazioni ATS/ERS 2005 non prevedono il DtPEF tra i criteri di accettabilità; è consigliabile, tuttavia, che questo sia indicato dallo strumento e rimanga al di sotto di 120 msec. La figura 4 mostra un esempio di spirometria non accettabile per fase iniziale non esplosiva.

Figura 4 - Esempio di mancata esplosività

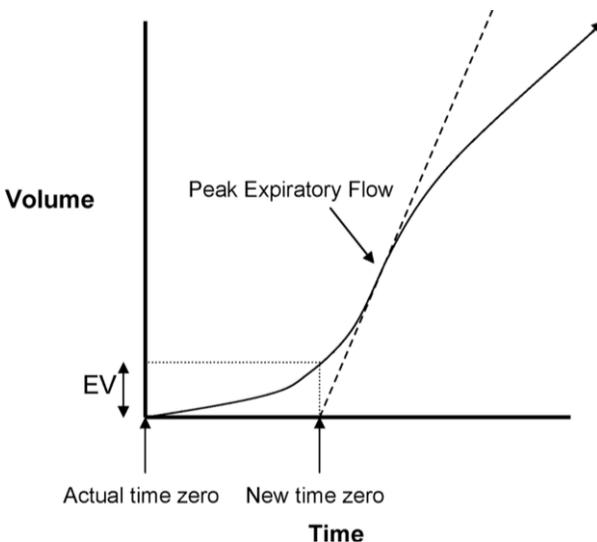


b) Volume di estrapolazione retrograda < 150 ml e/o < 5% FVC

Dal momento che l'interpretazione della spirometria si basa in modo particolare sul primo secondo di espirazione, è fondamentale individuare un valido tempo zero per il calcolo del FEV₁, applicando il criterio illustrato nella figura 5.

Sul grafico Volume/tempo, a partire dal punto di massima pendenza (picco di flusso) si traccia la retta di massima pendenza, che va ad incontrarsi con il prolungamento della retta orizzontale di apnea. Il punto così definito diventa il punto teorico di inizio dell'espirazione.

Figura 5 – Volume di estrapolazione retrograda (EV): ingrandimento della parte iniziale della curva V/t (da Lange 2009).



L'estrapolazione retrograda ha lo scopo di minimizzare l'imprecisione del FEV₁ causata da un'esitazione nella fase iniziale dell'espiazione, ma determina un aumento non reale del FEV₁. Può essere visibile sul tracciato V/t, ma è opportuno che il valore esatto sia fornito dallo spirometro.

Il criterio viene rispettato quando il volume di estrapolazione retrograda è inferiore a 150 ml; se superiore, la prova è comunque accettabile se EV rimane al di sotto del 5% di FVC. Le figure 6 e 7 mostrano esempi di spirometrie con volume di estrapolazione retrograda (V_{ext}) rispettivamente accettabile e non accettabile.

Figura 6 - Esempio di estrapolazione retrograda accettabile

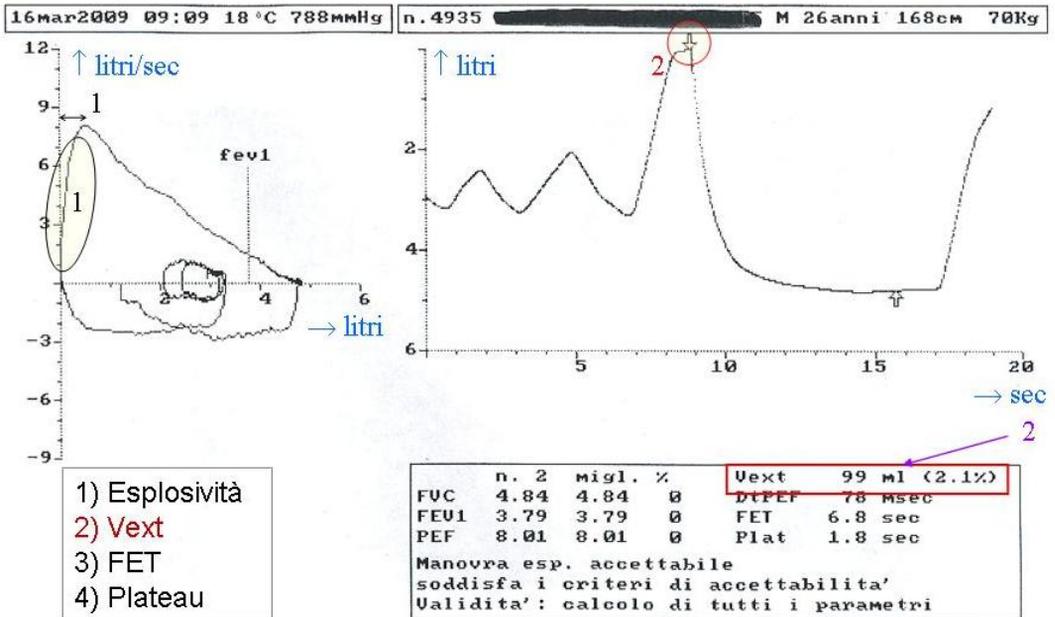
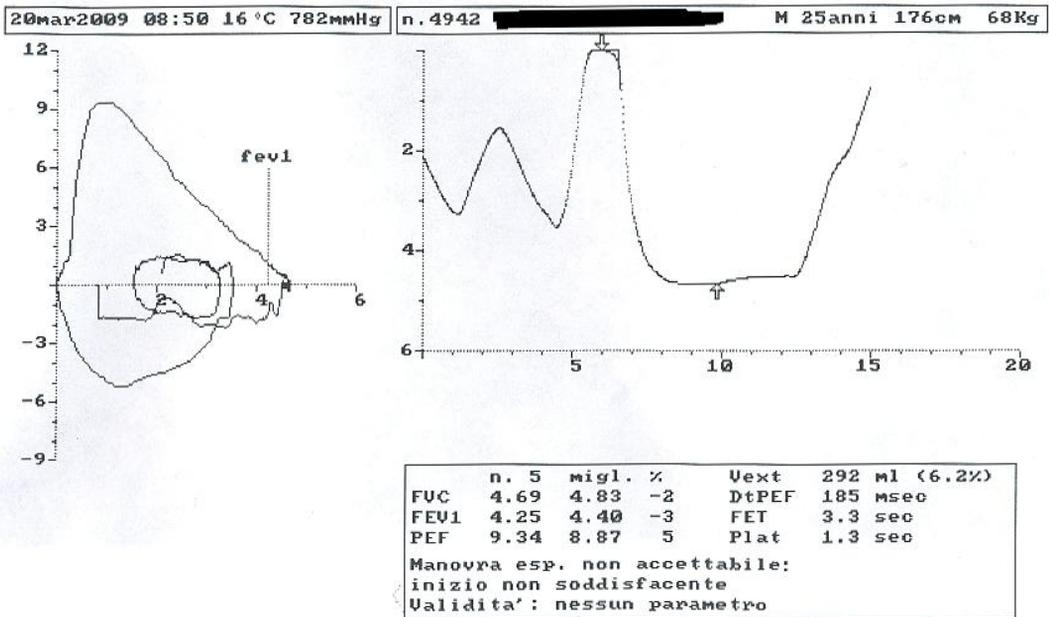


Figura 7 - Esempio di estrapolazione retrograda non accettabile



c) Durata dell'espirazione sufficiente

Per ottenere un completo svuotamento dei polmoni, l'espirazione deve durare di norma non meno di 6 secondi. È importante che lo spirometro segnali la durata dell'espirazione forzata (*Forced expiratory time: FET*), sia graficamente nella curva volume-tempo che come valore esatto nella tabella dei risultati.

Se il soggetto è giovane, astenico o di corporatura minuta, tuttavia, l'espirazione completa può avvenire molto rapidamente. In questo caso si può accettare la prova, anche se la durata è inferiore a 6 secondi, qualora la curva V/t mostri un *plateau* ben evidente (v. punto successivo). Al contrario, un soggetto ostruito può necessitare di un tempo superiore (fino a 15-20 secondi) per completare l'espirazione.

Va sottolineato che i risultati di una espirazione terminata precocemente, pur non soddisfacendo i criteri di accettabilità per la FVC, non devono necessariamente essere eliminati, in quanto possono essere utilizzati per recuperare il miglior valore di FEV₁. Le figure 8 e 9 mostrano esempi di spirometrie con durata della prova rispettivamente accettabile e non accettabile.

Figura 8 - Esempio di durata accettabile

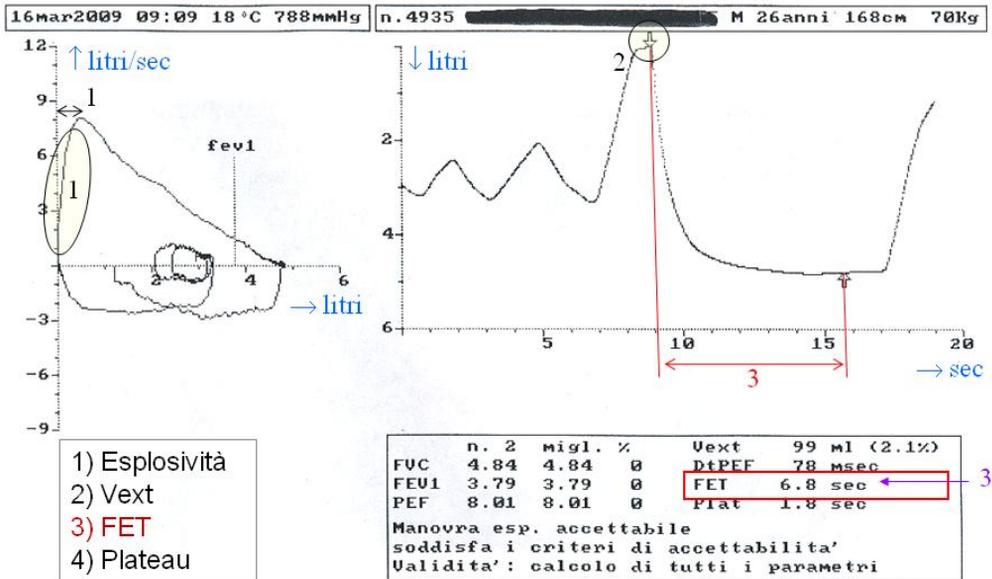
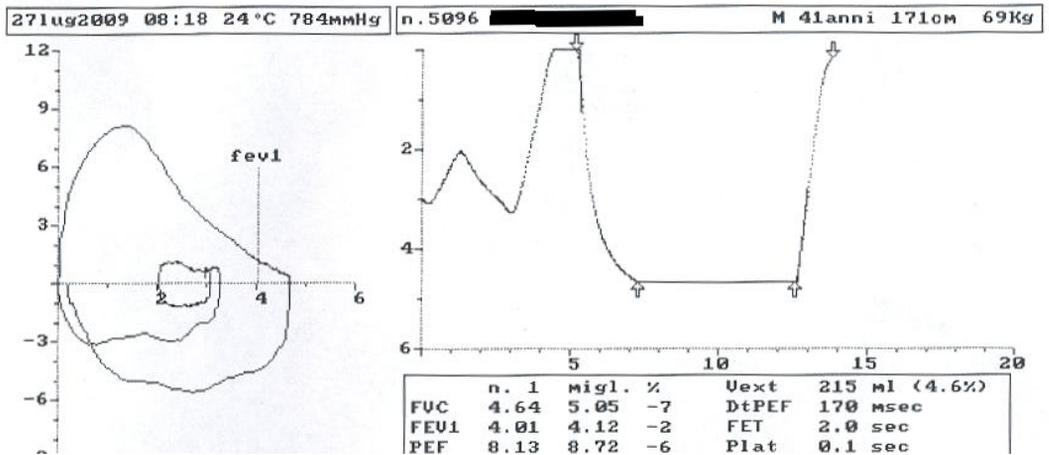


Figura 9 - Esempio di durata non accettabile



d) **Plateau di fine espirazione**

È importante che i soggetti siano incoraggiati dall'esaminatore a svuotare i polmoni fino al massimo possibile. La parte finale delle curve deve mostrare un andamento graduale, senza brusche variazioni o interruzioni. Lo svuotamento completo può essere verificato ricercando il *plateau* finale nella curva V/t, che viene raggiunto quando nella curva volume-tempo non si verifica una variazione di volume superiore a 0,025 L per la durata di almeno 1 secondo (figure 10 e 11).

Figura 10 - Esempio di *plateau* accettabile

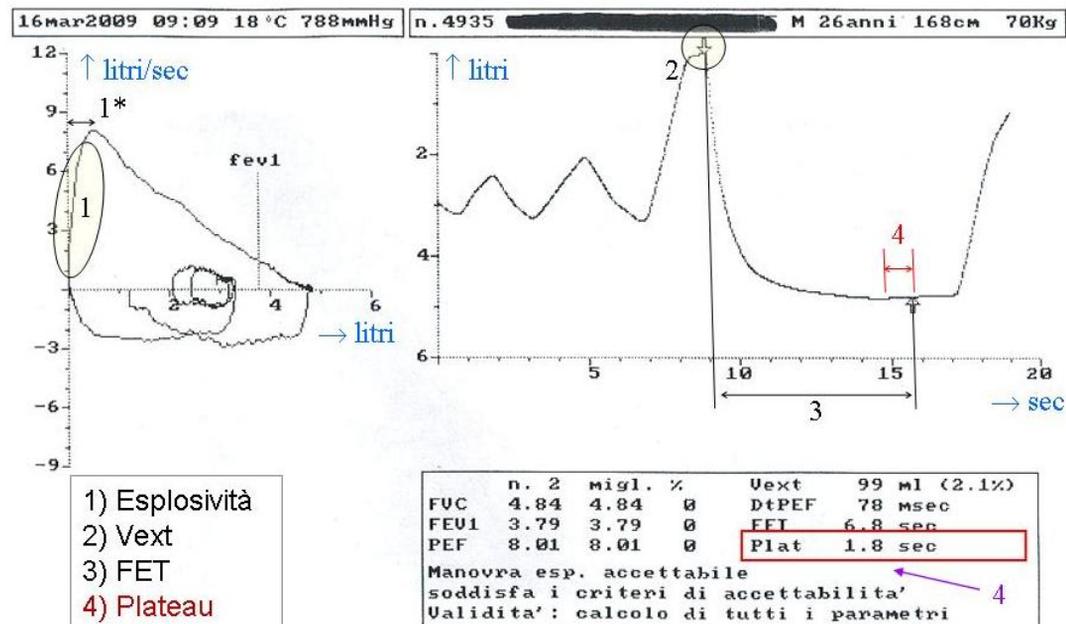
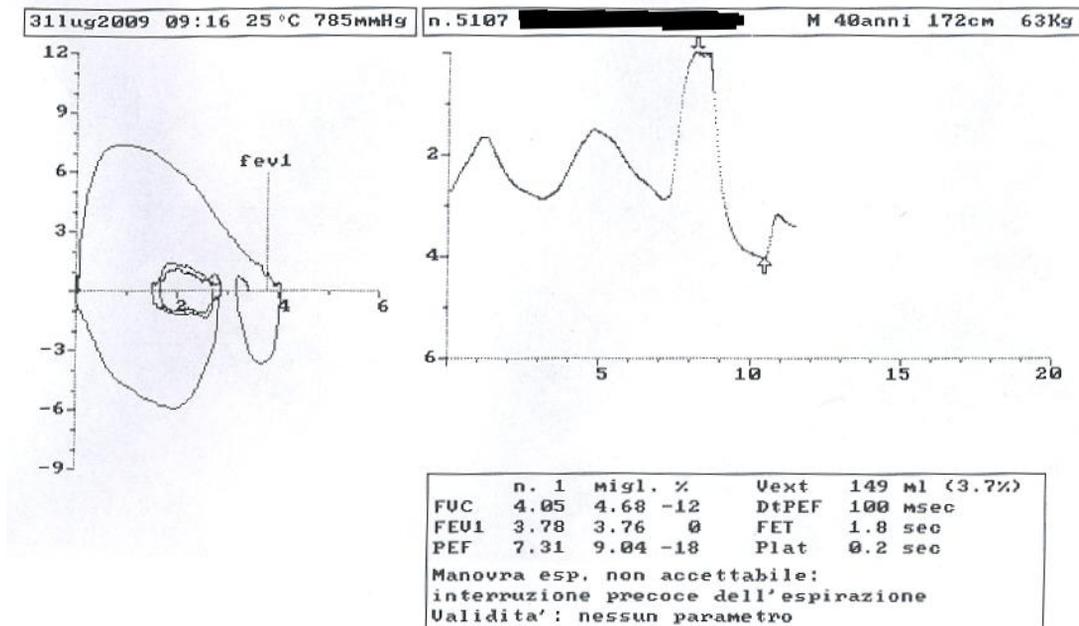


Figura 11 - Esempio di *plateau* assente



A questo punto sorge spontanea domanda: FET > 6 sec e plateau di 1 sec sono alternativi o devono essere entrambi presenti? In effetti nella tabella 5 di pag 325 delle linee guida ATS/ERS si usa *or* fra tempo >6 sec e *plateau*, ma a pagina 324 nel testo si usa *and*. Come specificato in un recente commento (Miller 2010), si tratta di un errore di stampa e la corretta interpretazione è l'uso di *and*; tuttavia, gli Autori stessi affermano che le curve che non presentano il *plateau* non devono essere scartate, poiché possono dare preziose informazioni cliniche. Il valore di FEV₁ può tranquillamente essere preso da curve che non raggiungono il *plateau*, ma che hanno d'altra parte un inizio esplosivo. Si conferma che nella pratica della sorveglianza sanitaria è opportuno utilizzare sempre il buon senso: se il soggetto è giovane/longilineo/basso verosimilmente la durata della espirazione sarà inferiore ai 6 secondi ed a maggior ragione sarà difficile soddisfare il richiesto *plateau* di 1 secondo.

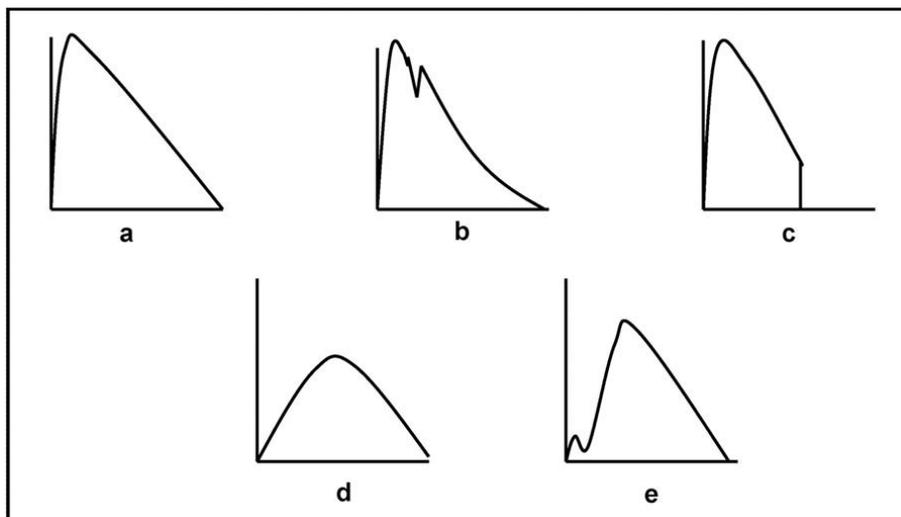
e) Assenza di artefatti nella curva F/V

Per l'accettabilità della manovra di FVC non devono verificarsi colpi di tosse nel primo secondo, che alterano il FEV₁, o successivamente se, a giudizio dell'operatore, interferiscono con la misura di risultati accurati, non deve verificarsi la chiusura della glottide (manovra di Valsalva) né un'esitazione durante la manovra che causi l'interruzione del flusso espiratorio.

La prova non è accettabile anche nel caso si verifichino perdite dal naso o dal boccaglio, come pure se questo viene ostruito dalla lingua o dai denti. Infine, non devono verificarsi inspirazioni aggiuntive durante la manovra di espirazione. Un errore frequente nelle spirometrie di screening è il mancato riempimento fino alla capacità polmonare totale, fatto che può erroneamente dar luogo a un "quadro restrittivo".

La figura 12 mostra schematicamente la differenza tra una curva F/V accettabile (a) e altre non accettabili: tosse nel primo secondo (b), espirazione terminata prematuramente (c), sforzo submassimale (d) ed esitazione nella partenza (e).

Figura 12 – Esempi schematici di curve F/V accettabili e non (da Lange 2009)



7. Criteri di ripetibilità

Per un esame spirometrico adeguato sono richieste di norma 3 manovre di FVC accettabili.

Successivamente, è necessario verificarne la rispondenza ai criteri di ripetibilità, che si conferma quando la differenza fra i due migliori valori di FVC e quella tra i due migliori valori di FEV₁ sono ≤ 150 mL. Se questi criteri non sono soddisfatti in tre prove, occorre eseguirne altre, indicativamente fino a un massimo di otto o fino a quando il soggetto non riesce più ad eseguire la manovra espiratoria per eccessivo affaticamento.

Nella spirometria di screening la mancata ripetibilità è spesso causata da una inspirazione non massimale. Inoltre, negli spirometri con misurazione primaria del flusso una ripetibilità molto bassa può essere indice di contaminazione o blocco dei sensori (da parte di vapore condensato, muco o dita).

La mancata ripetibilità deve essere utilizzata solo per stabilire se sono necessarie più di tre manovre accettabili, ma non deve determinare di per sé l'esclusione dei dati relativi a quei soggetti. Nel caso, si raccomanda di annotare nel referto la mancata ripetibilità.

L'applicazione rigida dei criteri di ripetibilità porterebbe, infatti, alla selettiva esclusione di individui affetti da malattie polmonari, auspicabile in sede di elaborazione di teorici di riferimento, ma possibile sorgente di errore in studi epidemiologici sugli effetti di un agente ambientale sul polmone. Per tale motivo, nel corso della sorveglianza sanitaria in azienda, sarebbe opportuno valutare i tracciati con un metodo standardizzato come quello riportato in tabella 3,

elaborando i dati dei soggetti con punteggio >2 ed approfondendo le motivazioni che hanno portato a valori inferiori.

Tabella 3 - Punteggio per il controllo di qualità della spirometria

Grado	Criteri rispettati	Punti
A	3 manovre accettabili / 2 FEV ₁ e FVC entro 150 ml (ATS/ERS 2005)	5
B	3 manovre accettabili / 2 FEV ₁ e FVC entro 200 ml (ATS 1994)	4
C	2 o 3 manovre accettabili con ripetibilità entro 200-250 ml	3
D	2 o 3 manovre accettabili senza ripetibilità entro 250 ml	2
E	1 manovra accettabile	1
F	nessuna manovra accettabile	0

8. Presentazione dei risultati della spirometria

Al termine dell'esame spirometrico lo strumento deve presentare i valori e le curve di tutte le prove accettabili, per permettere una valutazione complessiva di qualità. Per l'interpretazione, vengono scelti i valori più alti di FVC e di FEV₁, anche se ricavati da curve differenti. Il rapporto FEV₁/FVC viene calcolato utilizzando questi due risultati.

I valori dei flussi espiratori forzati (FEF) vanno invece derivati dalla manovra in cui si osserva il valore più elevato della somma FVC + FEV₁. Va sottolineato, tuttavia, che le raccomandazioni ATS/ERS 2005 scoraggiano fortemente l'uso clinico dei FEF₂₅₋₇₅ e dei flussi istantanei massimi a bassi volumi polmonari, per la loro eccessiva variabilità inter- e intraindividuale.

9. Scelta dei valori di riferimento

Benché la scelta dei valori teorici per la funzionalità polmonare sia altrettanto importante quanto l'accuratezza e la precisione della misura originale, l'attenzione ai valori di riferimento è spesso minima o addirittura assente.

Un primo problema consiste nel fatto che per l'Europa, a differenza degli Stati Uniti, non sono attualmente disponibili equazioni di riferimento validate anche per sottogruppi etnici.

Più in generale, inoltre, non esistono valori di riferimento validi "per tutte le stagioni" e quindi la scelta dell'equazione teorica è condizionata anche dal

contesto e dalla finalità della spirometria: clinico, epidemiologico, medico-legale o preventivo. Di conseguenza, in Medicina del Lavoro non si può non tenere conto dell'healthy worker effect quando si voglia mettere in evidenza una alterazione ventilatoria precoce.

Non dovrebbero essere utilizzate formule che forniscono valori sottostimati, in particolare di VC, in quanto il rapporto FEV_1/VC è il primo indice da valutare nella strategia di interpretazione. Da segnalare, a questo proposito, che i valori di riferimento ERS 1993 (equivalenti ai CECA 1983) determinano una significativa sottostima dei risultati spirometrici; di qui il rischio di considerare "normali" soggetti che normali non sono, per cui ne dovrebbe essere abbandonato l'uso in occasione della sorveglianza sanitaria in azienda.

Per i lavoratori italiani si raccomanda di utilizzare i valori teorici di riferimento messi a punto dalla CECA nel 1971, che rimangono tuttora i più adeguati nella sorveglianza sanitaria degli adulti (25-65 anni) esposti a rischi professionali.

Riguardo ai lavoratori giovani, nessuna equazione di riferimento appare più adeguata di altre nella fascia di età 18-25 anni. Ne consegue che i valori di riferimento provenienti da qualsivoglia equazione possono essere utilizzati anche per questa fascia di età, ponendo molta cautela nell'interpretazione e nella refertazione della spirometria.

Il problema di valide equazioni di riferimento per lavoratori stranieri è divenuto ormai di fondamentale importanza. Occorre tuttavia fare una distinzione fra immigrati europei e non europei. In effetti, per albanesi e rumeni, che costituiscono il maggior numero di lavoratori immigrati, l'utilizzazione dei teorici CECA 1971 è adeguata. Una certa cautela deve essere invece posta per i soggetti provenienti da nazioni dell'Europa orientale geograficamente più lontane dall'Italia. Per questi lavoratori si possono utilizzare i valori di riferimento per i lavoratori italiani, limitandosi cautelativamente ad aggiungere la dizione "teorici non appropriati", in quanto non esistono al momento validazioni per quelle popolazioni.

Maggiori problemi si incontrano esaminando i dati relativi ad altre popolazioni non europee. I valori teorici di riferimento ricavati da popolazioni caucasiche viventi in Europa e America non possono, infatti, essere utilizzati per valutare popolazioni di altre etnie, come i cinesi, gli indiani o gli africani. Rimandando per una trattazione più ampia alle monografie citate in bibliografia (Innocenti 2011, Maestrelli 2010) si forniscono qui alcune indicazioni schematiche.

Per gli arabi nordafricani di pelle bianca (algerini, egiziani, libici, tunisini, marocchini) sono stati validati i valori di riferimento di Knudson e coll. (1983). Per marocchini di pelle nera si può fare riferimento ai valori proposti per i senegalesi, data la vicinanza geografica.

Per quanto riguarda le etnie asiatiche sono reperibili equazioni per cinesi, filippini, pakistani, indiani del nord e indiani del sud. Per i cingalesi (Sri Lanka) possono essere usate le equazioni derivate dalle popolazioni indiane meridionali.

10. Interpretazione della spirometria

L'interpretazione di una spirometria inizia con l'analisi della qualità della prova spirometrica. Anche le prove non ottimali dal punto di vista dell'accettabilità o della ripetibilità possono contenere informazioni utili, ma è necessario prima di tutto identificare i problemi e valutare entità e tipologia dei possibili errori. Un malinteso frequente, specie tra chi si affida alla diagnosi automatica del computer, consiste nell'ignorare il controllo di qualità, basandosi esclusivamente sui risultati numerici per l'interpretazione del test.

La valutazione della spirometria si basa tradizionalmente sul confronto con i valori di riferimento, misurati in soggetti sani. Spesso l'interpretazione si limita a questa analisi trasversale: ogni anno viene precisato soltanto se i risultati sono all'interno della normale variabilità. Ma non bisogna dimenticare che spirometrie ripetute periodicamente, come nel caso della sorveglianza sanitaria di un lavoratore, permettono anche una valutazione longitudinale, misurando le modificazioni della funzione polmonare nel tempo. Particolare attenzione deve essere posta nella scelta dei teorici, la cui fonte deve essere sempre indicata nel referto.

Seguendo le indicazioni della task-force ATS/ERS del 2005, i criteri maggiori per definire l'esistenza di significative alterazioni spirometriche si devono basare sul confronto tra i valori osservati e i limiti inferiori di normalità (LIN) dei valori di riferimento adottati per il soggetto in esame. Gli spirometri, quindi, devono indicare il limite inferiore del teorico per poter definire correttamente un deficit spirometrico.

In mancanza di tale indicazione si possono utilizzare per il limite inferiore valori fissi rispetto al teorico: FVC, VC e FEV₁ -20% del teorico; FEV₁/VC o FEV₁/FVC -10 punti rispetto al teorico (tabella 4). Questi valori fissi possono tuttavia dar luogo a errori non trascurabili nell'interpretazione della spirometria negli adulti molto giovani o negli anziani.

Tabella 4 - Riepilogo dei limiti inferiori di normalità (LIN)

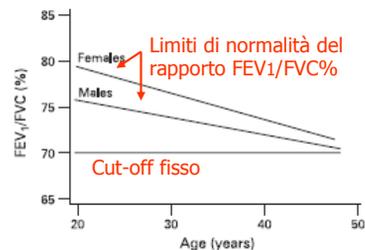
- FVC, VC: 5° percentile (in subordine 80% del teorico);
- FEV₁: 5° percentile (in subordine 80% del teorico);
- FEV₁/VC, FEV₁/FVC: 5° percentile (in subordine 10 punti in meno del teorico)

Dopo aver verificato la validità della spirometria, per discriminare le spirometrie anormali da quelle normali, conviene esaminare dapprima se VC rientra nell'ambito del teorico e quindi il rapporto FEV_1/VC , al fine di determinare la presenza o meno di un deficit ostruttivo. Se VC è inferiore al LIN e il rapporto FEV_1/VC molto alto si deve prendere in considerazione un possibile deficit restrittivo, come indicato in figura 13.

Importanza dei criteri decisionali

Le linee-guida GOLD (per BPCO) utilizzate anche per l'ASMA (linee guida GINA) indicano, indipendentemente dal sesso, età ed altezza, il livello fisso di rapporto **$FEV_1/FVC\% < 70$** come **indice di ostruzione bronchiale** al fine di una semplificazione, ma questo **cut-off fisso** può portare a notevoli misclassificazioni.

Infatti tale valore è fisiologico nei soggetti fra 50 e 55 anni e poiché l'asma è una malattia dei giovani molti asmatici possono risultare falsamente "normali" pur avendo una ostruzione bronchiale (con rapporto $FEV_1/FVC\% > 70$), mentre la BPCO è una malattia dell'età avanzata e viceversa molti anziani possono risultare falsamente ostruiti avendo un rapporto $FEV_1/FVC\% < 70$



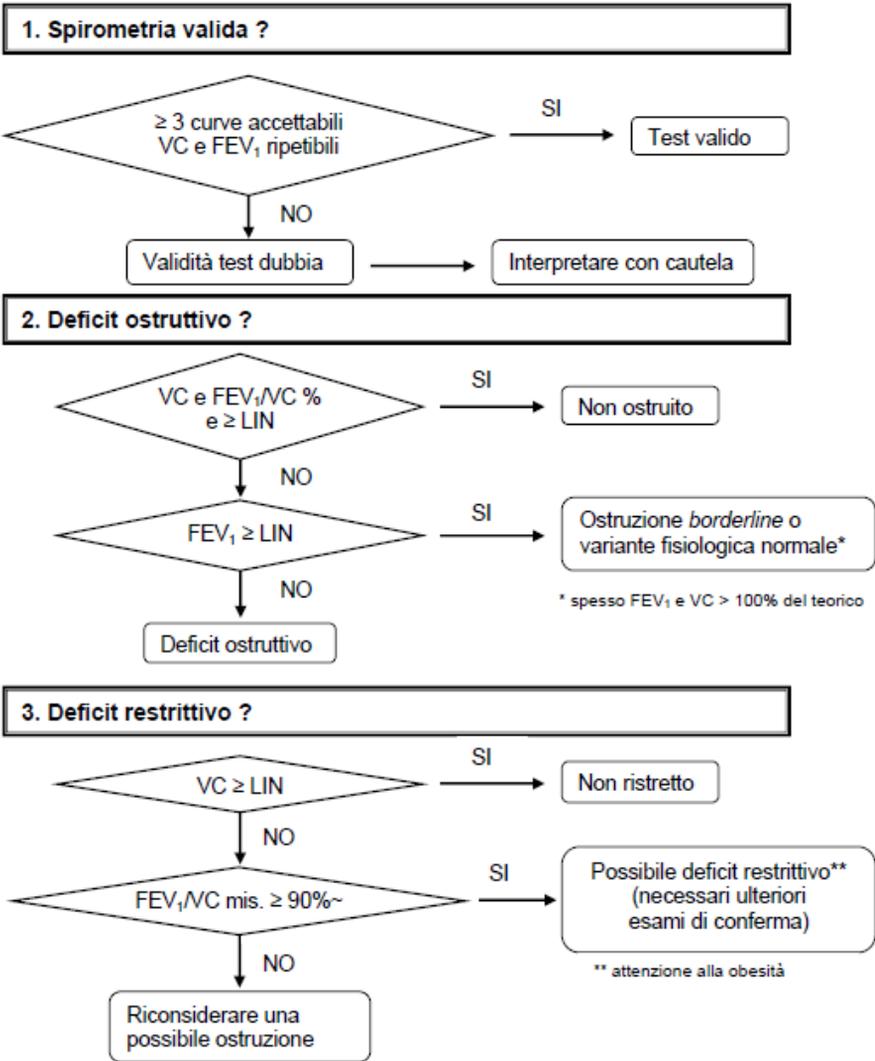
a) Ostruzione delle vie aeree

La spirometria è da considerare indicativa di una ostruzione delle vie respiratorie quando sia il rapporto FEV_1/VC che FEV_1 sono inferiori al LIN, mentre VC è nella normale variabilità. Una certa attenzione deve essere posta quando l'apparecchio esprime solo il rapporto FEV_1/FVC e non permette l'effettuazione di una VC inspiratoria lenta.

Nei soggetti affetti da patologie cronic-ostruttive e negli anziani, infatti, i valori di quest'ultima risultano generalmente superiori a quelli di FVC, in quanto le manovre lente permettono di evitare fenomeni di compressione dinamica delle piccole vie aeree – e quindi di *air trapping* – prima di raggiungere l'effettivo livello di fine espirazione massimale.

Quando, invece, il rapporto FEV_1/VC è inferiore al LIN mentre FEV_1 è nella normale variabilità, si può sospettare una ostruzione *borderline* oppure la presenza di una “variante fisiologica normale”. Le raccomandazioni ATS/ERS mettono in guardia sul fatto che un rapporto FEV_1/VC anormale, associato a VC e FEV_1 entrambi superiori al 100%, può essere riscontrato a volte in soggetti sani non fumatori. Il quadro è denominato “variante fisiologica normale” e non è infrequente in soggetti atletici, quali vigili del fuoco o soccorritori d'emergenza. Se, tuttavia, questi lavoratori sono esposti a tossici o irritanti noti, occorre considerare la possibilità di un deficit ostruttivo quando si osserva la riduzione di FEV_1/VC .

Figura 13 - Algoritmo di interpretazione della spirometria



Il grado di ostruzione è misurato in base alla riduzione del FEV_1 (vedi oltre); con il proseguire della ostruzione e il conseguente aumento del VR, infatti, vi è una riduzione anche della VC e il rapporto FEV_1/VC può ritornare normale. Una concomitante diminuzione del FEV_1 e della VC è più comunemente causata da uno sforzo insufficiente durante l'espiazione, ma può raramente essere espressione di un'ostruzione del flusso aereo. La conferma dell'ostruzione delle vie aeree richiede la misura dei volumi polmonari statici.

Misure dei volumi polmonari assoluti possono aiutare nella diagnosi di enfisema, asma bronchiale e bronchite cronica e misure della resistenza del flusso aereo possono essere utili nei pazienti che non sono in grado di eseguire correttamente l'esame spirometrico.

In ragione della grande variabilità del $FEF_{25-75\%}$ e dei flussi istantanei nei soggetti sani, le raccomandazioni ATS/ERS consigliano fortemente di non utilizzare questi indici per diagnosticare una patologia delle piccole vie aeree nei singoli casi, quando FEV_1/VC e FEV_1 sono nella normale variabilità. Viceversa, l'analisi degli indici di flusso forzato di fine espiazione può essere utilizzato nel confronto di gruppi di soggetti fumatori o esposti ad irritanti e tossici respiratori con gruppi di riferimento non esposti a rischi per l'apparato respiratorio.

A fronte di volumi polmonari nella norma e flussi ridotti in un fumatore, è utile sottolineare gli effetti nocivi dell'abitudine al fumo (e soprattutto i benefici della cessazione), piuttosto che tentare "pindarici voli" interpretativi sulle alterazioni funzionali delle piccole vie aeree. I flussi, tuttavia, possono essere utili per confermare la presenza di un'ostruzione delle vie aeree in presenza di un rapporto FEV_1/VC ai limiti inferiori della normalità.

b) Restrizione polmonare

La spirometria è da considerare indicativa di una *possibile* restrizione polmonare quando VC è ridotto e FEV_1 è compreso entro il limite inferiore del teorico. Un ridotto VC da solo non prova un deficit polmonare di tipo restrittivo, ma può essere suggestivo per una restrizione quando il rapporto FEV_1/VC è normale o aumentato. Tuttavia, accanto alla riduzione di VC si ha spesso una consensuale riduzione di FEV_1 , per cui il rapporto FEV_1/VC % deve essere interpretato con cautela. La certezza di alterazione restrittiva si ha soltanto con la valutazione della capacità polmonare totale ($TLC < 5^\circ$ percentile o in subordine $< 80\%$ teorico).

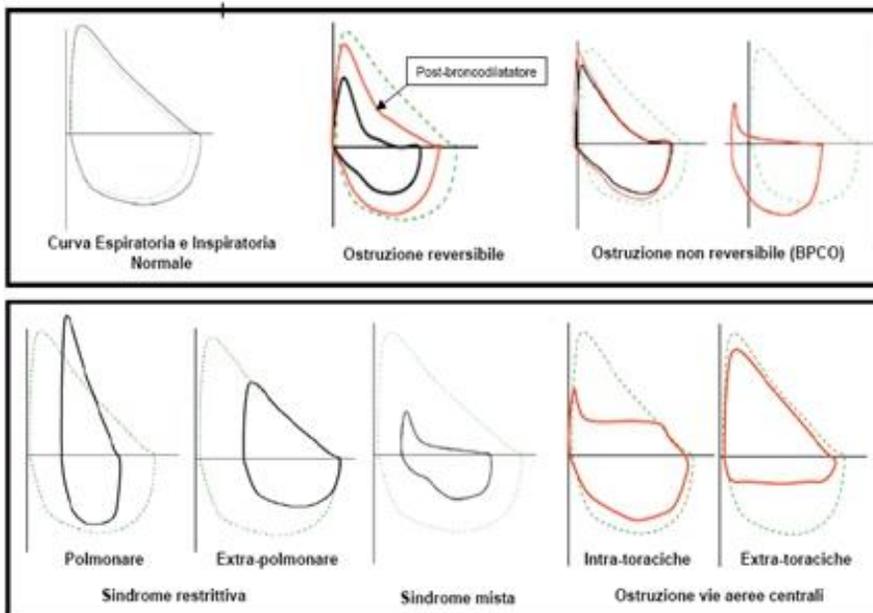
c) Deficit misto

Raro da vedere nella pratica della sorveglianza sanitaria, consiste nella contemporanea riduzione del rapporto FEV_1/VC % e della TLC al di sotto del LIN.

d) Interpretazione della morfologia della curva flusso-volume

La morfologia della curva flusso/volume, oltre che per valutare l'accettabilità della manovra di espirazione forzata, può essere utile all'interpretazione della spirometria. Inoltre, alcuni aspetti di limitazione dei flussi inspiratori maggiore di quella dei flussi espiratori possono suggerire la localizzazione dell'ostruzione nelle vie aeree extratoraciche. La figura 14 presenta alcuni esempi di curve flusso/volume indicative di alterazioni ventilatorie (linea tratteggiata: teorico; linea intera: osservato).

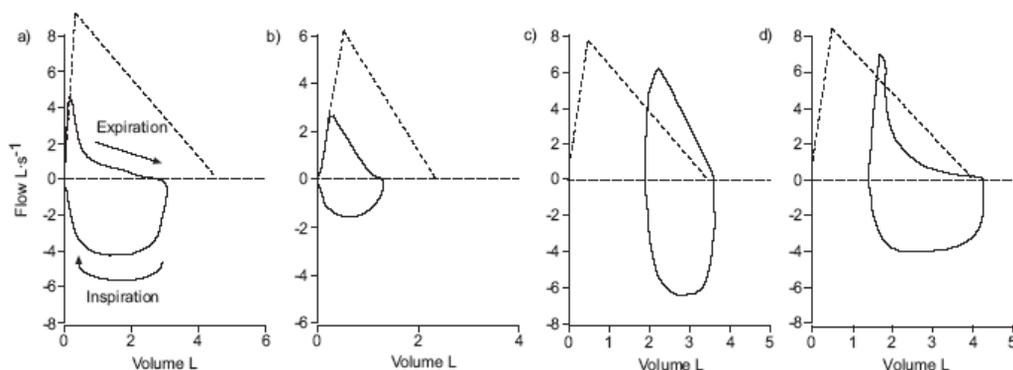
Figura 14 - Curve F/V esemplificative (da Maestrelli 2010)



Nella figura 15 sono presentate altre esemplificazioni di alterazioni ventilatorie, riprese dal documento della task force ATS/ERS sulle strategie di interpretazione delle prove di funzionalità respiratoria.

- Deficit polmonare ostruttivo con riduzione del rapporto FEV_1/VC : FEV_1 38% del teorico; FEV_1/VC 46%; PEF 48%; TLC 101%. TLC è normale e i flussi sono ridotti rispetto agli attesi sull'intero ambito volumetrico.
- Deficit polmonare ostruttivo con normale rapporto FEV_1/VC : FEV_1 57%; FEV_1/VC 73%; PEF 43%; TLC 96%. TLC è normale e i flussi sono ridotti rispetto agli attesi sull'intero ambito volumetrico.
- Deficit restrittivo tipico: FEV_1 66%; FEV_1/VC 80%; PEF 79%; TLC 62%. TLC è ridotta e il flusso è maggiore dell'atteso per un dato volume polmonare.
- Deficit misto caratterizzato da una diminuita TLC e un ridotto rapporto FEV_1/VC : FEV_1 64%; FEV_1/VC 64%; PEF 82%; TLC 72%.

Figura 15 - Curve F/V esemplificative (da Pellegrino 2005)



e) Valutazione della gravità del deficit spirometrico

La gravità di qualsiasi alterazione spirometrica può essere classificata basandosi sul valore del FEV₁ rispetto al predetto. La giustificazione di questo approccio è che il valore del FEV₁ risulta il maggiore fattore predittivo indipendente di mortalità per qualsiasi causa o per malattie respiratorie.

Le categorie di gravità proposte dalla task-force ATS/ERS del 2005 sono definite da intervalli arbitrari basati sul valore del FEV₁ in percentuale del teorico medio, similmente a quanto proposto dalle linee guida GOLD per la classificazione di gravità della BPCO (tabella 5). Anche in questo caso i livelli di gravità sono arbitrari. Poiché i criteri GOLD si riferiscono solo alla BPCO e riguardano il FEV₁ post-broncodilatatore, per uniformare i criteri di refertazione delle spirometrie risulta preferibile usare le indicazioni della task-force ATS/ERS del 2005.

Tabella 5 - Classificazione di gravità del deficit spirometrico secondo i criteri ATS/ERS 2005 e GOLD

	ATS/ERS 2005	GOLD 2009
Grado di severità	<i>FEV₁ (% teorico)</i>	<i>FEV₁ post-broncodilat. (% teorico)</i>
Lieve	>70	>80
Moderata	60-69	50-79
Mediamente grave	50-59	-
Grave	35-49	30-49
Gravissima	<35	<30

Bibliografia essenziale

- Innocenti A, Quercia A, Roscelli F. Appunti di Spirometria per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori e dei fumatori. Seconda edizione. Azienda USL Viterbo 2011.
- Lange NE, Mulholland M, Kreider ME. Spirometry. Don't Blow it! Chest 2009; 136: 608-614
<http://chestjournal.chestpubs.org/content/136/2/608.long> (accesso 18/10/2010)
- Maestrelli P *et al.* Linee Guida SIMLII per la sorveglianza sanitaria di lavoratori esposti ad irritanti e tossici per l'apparato respiratorio. Fondazione Maugeri - SIMLII 2010.
- Miller MR, Crapo R, Hankinson J *et al.* General considerations for lung function testing. Eur Respir J. 2005; 26: 153-161
<http://www.erseducation.org/pages/default.aspx?id=2006&idBrowse=37467&det=1>
(accesso 18/10/2010)
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V *et al.* Standardisation of spirometry. Eur Respir J. 2005; 26: 319-338
<http://www.ers-education.org/pages/default.aspx?id=2006&idBrowse=37466&det=1>
(accesso 18/10/2010)
- Miller ML, Hankinson J, Brusasco V *et al.* Standardisation of lung function testing: the authors' replies to readers' comments. Eur Resp. J 2010; 36: 1496-1498
- Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V *et al.* Interpretative strategies for lung function tests. Eur Respir J. 2005; 26: 948-968
<http://www.erseducation.org/pages/default.aspx?id=2006&idBrowse=37463&det=1>
accesso 18/10/2010)

Nella pagina che segue è riportato un esempio di scheda per la registrazione dei dati (valori di FEV₁, FVC e FEV₁/FVC) utile per il confronto nel tempo e per la rilevazione precoce di variazioni significative.

La scheda è tratta da:

“OCCUPATIONAL HEALTH PROGRAM FOR EXPOSURE TO CRYSTALLINE SILICA IN THE INDUSTRIAL SAND INDUSTRY”
FIRST EDITION, MARCH 1997

National Industrial Sand Association
4041 Mill Road, Suite 402
Calverton, Maryland 20705

**NISA Occupational Health Program
Form B-3---Pulmonary Function Record (Sample)**

Name John Doe Sex: Male Female Location Castlemans Plant Job name/description Bagger
 Race Caucasian Social Security No. 248-82-7681

Date	Spirometer Type	Ambient Temp. (°C)	Age	Height	Observed Values (BTPS)			Predicted Normal [*]				Change (± % or liters)			Subject Cooperation (good, fair, poor)
					FEV ₁	FVC	FEV ₁ /FVC%	FEV ₁	% Predicted	FVC	% Predicted	FEV ₁	FVC	FEV ₁ /FVC%	
1/21/82	Rolling Seal	23	26	72	4,71	5,80	81,2	4,60	102,4	5,55	102,7	--	--	--	F
1/24/84	"	22	28	72	4,80	5,84	82,2	4,55	105,5	5,55	105,2	1,9	0,7	1,0	G
1/29/86	"	21,5	30	72	4,60	5,56	82,7	4,50	102,2	5,50	101,1	-4,2	-5,0	0,5	G
1/14/88	"	23	32	72	4,42	5,48	80,7	4,40	100,5	5,45	100,6	-4,1	-1,4	-2,0	F
1/17/90	"	21	34	72	4,30	5,25	81,9	4,35	98,9	5,40	97,2	-2,7	-4,2	1,2	G
3/11/92	"	24	36	72	4,23	4,70	90,0	4,28	98,9	5,35	87,9	-1,6	-10,5	8,9	G
2/10/94	"	22	38	72	4,03	4,20	95,9	4,25	94,8	5,30	79,2	-4,7	-10,6	5,9	G
1/25/96	"	21,5	40	72	3,04	3,20	95,0	4,20	72,3	5,25	61,0	-24,6	-23,8	-0,9	G

* For non-Caucasians, the predicted FEV₁ and FVC must be multiplied by 0.86.

¹ In stocking feet.