

# IL LABORATORIO DIDATTICO

**Prof. ing. Italo GORINI (1), Prof. ing. Sergio SARTORI (2)**

(1) Politecnico di Torino Dipartimento di Elettronica

(2) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti"

Gennaio 1984

Revisione del febbraio 2010 da parte di Sergio Sartori

**Presentazione.** Nel gennaio del 1984 decidemmo d'iniziare l'impresa di raccogliere in modo organico l'esperienza maturata in oltre 15 anni di insegnamento e di gestione del laboratorio di misure elettriche nel Politecnico di Torino. L'articolo non fu mai terminato e pubblicato per la morte prematura del fraterno amico Italo Gorini ([www.gorini.diei.unipg.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54&Itemid=27](http://www.gorini.diei.unipg.it/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=27)), avvenuta nel 1993. Dedicammo molto tempo a discutere sui contenuti e sulle modalità di presentazione degli argomenti; ci consultammo con numerosi insegnanti, conosciuti nell'ambito di incontri di aggiornamento organizzati dalla Provincia di Torino.

Ho ritrovato il testo mettendo ordine tra vecchie carte e, rileggendolo, mi è sembrato ancora attuale e potenzialmente utile. Così lo ho ripreso in mano, modificandolo praticamente solo con l'aggiunta di note, con l'aggiornamento delle disposizioni di legge, completando e aggiornando la bibliografia e con l'integrazione di osservazioni che già facevano parte delle stesure fatte in passato.

Sull'argomento dei laboratori per la didattica nelle scuole sono oggi disponibili molti testi, assai più recenti e con impostazioni valide (si veda ad esempio l'ottimo testo scaricabile da [www.ct.infn.it/~riggi/sissis/sissis\\_lezione2.ppt](http://www.ct.infn.it/~riggi/sissis/sissis_lezione2.ppt)); mi è sembrato però che il modo organico che allora scegliemmo per aiutare i docenti a percorrere la fase di progettazione, organizzazione e uso di un laboratorio didattico potesse essere ancora utile e che quindi valesse la pena di mettere a disposizione di tutti questo nostro lavoro tramite il sito dell'Associazione Italiana GMEE.

Questo lavoro vuole soprattutto ricordare l'amico Italo, il Suo impegno nella didattica e la Sua visione a largo raggio dei problemi, soprattutto umani, che chiunque si dedichi a questa nobile arte deve saper affrontare e risolvere.

A chi avrà voglia di leggere questo testo rivolgo un caldo invito: ogni critica, ogni suggerimento, soprattutto se derivati dall'esperienza di insegnamento in laboratorio, può essere utile per migliorare il testo e per renderlo più fruibile. Non esitate dunque a farmi pervenire i vostri commenti. Grazie.

Sergio Sartori ([sergio.sartori3@tin.it](mailto:sergio.sartori3@tin.it))

# INDICE

## Introduzione

## PARTE I - IL PROBLEMA DEL LABORATORIO SPERIMENTALE DIDATTICO

### 1. LE TRE DOMANDE PRELIMINARI

*A - Quale funzione didattica vuole assegnare al laboratorio?*

*B - Quali obiettivi primari e secondari si propone con il laboratorio?*

*C - Quale tipo di laboratorio si intende realizzare?*

### 2. VARIABILI CHE CONDIZIONANO LE RISPOSTE

*2.1. Premessa*

*2.2. Variabili strutturali*

*2.3. Variabili didattiche*

*2.4. Variabili personali*

*2.5. Influenza delle variabili*

### 3. I MOMENTI ORGANIZZATIVI

*3.1. Momento strutture.*

*3.1.1. Locale*

*3.1.2. Servizi*

*3.1.3. Illuminazione*

*3.1.4. Alimentazioni di energia*

*3.1.5. I banchi da lavoro*

*3.1.6. Sussidi audiovisivi*

*3.2. Momento sicurezza*

*3.3. Momento didattico.*

*3.3.1. Scelta del programma*

*3.3.2. Analisi dei risultati*

*3.3.3. Audiovisivi*

*3.3.4. Valutazione*

*3.4. Momento attrezzature*

*3.4.1. Attrezzatura generale*

*3.4.2. Gli esperimenti*

*3.4.3. Attrezzature speciali*

*3.5. Momento mantenimento.*

*3.5.1. La sistemazione della strumentazione*

*3.5.2. Manutenzione*

### 4. CONCLUSIONI DELLA PARTE I

## PARTE II - UN ESEMPIO REALIZZATO

### INTRODUZIONE

#### 1. LA SITUAZIONE

*1.1. La realtà preesistente (variabili strutturali)*

*1.2. La situazione didattica (variabili didattiche)*

*1.3. I docenti (variabili personali)*

#### 2. LE SCELTE FONDAMENTALI (Le risposte alle tre domande preliminari)

*A - La funzione*

*B - Gli obiettivi*

*C - Il tipo*

### 3. L'ORGANIZZAZIONE

- 3.1. *Le strutture*
- 3.2. *La sicurezza*
- 3.3. *La didattica*
- 3.4. *Le attrezzature*
- 3.5. *Manutenzione*

### 4. CONCLUSIONI DELLA PARTE II

#### **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

La pubblicazione del BIPM  
Il corpo di norme ISO/IEC della serie 80 000  
Il vocabolario internazionale di metrologia  
La guida all'espressione dell'incertezza nelle misurazioni

#### **APPENDICI**

Stralci dal decreto legge 626/1994  
Note sui locali contenenti accumulatori  
Dalla Normativa sulle tubazioni e la loro identificazione

#### **TABELLE**

1. Grandezze dell'ISQ e unità del SI di base
2. Esempi di unità SI coerenti espresse a partire dalle unità di base
3. Unità SI derivate aventi un nome speciale
4. Corrispondenza tra nome dell'unità SI designato per le unità di misura nel settore delle radiazioni ionizzanti e nome dell'unità SI, da non utilizzare per esse, desunto dalla derivazione dalle unità di base e da altre unità con nome speciale.
5. La sintassi per l'uso delle unità con nome e simbolo speciale nella generazione del nome e del simbolo di altre unità SI derivate coerenti.
6. Scelta preferita del nome dell'unità, con ricorso o meno a nomi speciali, per meglio consentire l'identificazione della grandezza alla quale ci si intende riferire
7. **Unità per grandezze adimensionali, grandezze di dimensione uno**
8. Unità al di fuori del SI ma accettata definitivamente e usabili congiuntamente con le unità SI

## Introduzione

L'organizzazione e la gestione di un laboratorio sperimentale indirizzato ad attività didattica comportano una serie di decisioni e di revisioni delle decisioni prese, le quali costituiscono, nel loro insieme, un considerevole bagaglio di esperienze. Abbiamo ritenuto utile mettere a disposizione degli interessati l'esperienza da noi maturata; essa proviene non soltanto dalla verifica diretta di diverse soluzioni, ma anche dalla conoscenza di altri laboratori italiani e stranieri e da dibattiti con altri docenti. L'interesse diffuso, la quasi totale mancanza di articoli specifici, soprattutto su pubblicazioni italiane, ci ha suggerito di tentare di impostare il tema in modo generale; la prima parte di questo articolo è perciò dedicata a una analisi delle scelte possibili, mentre la seconda si sofferma sulla descrizione di un caso concreto.

E' evidente che, sia nell'indicare le scelte sia nel descrivere la scelta da noi fatta, siamo stati condizionati dalla nostra formazione e dalla situazione nella quale ci siamo inseriti e sulla quale abbiamo operato le possibili modifiche; è dunque probabile che la nostra analisi trascuri alcuni aspetti da altri ritenuti essenziali o metta in risalto motivazioni e ipotesi che altri ancora possono considerare di importanza secondaria. Non pretendiamo di esaurire un argomento, complesso e dalle molteplici implicazioni: proponiamo uno schema di discussione, augurandoci che altri vogliano intervenire.

Abbiamo tenuto presente, in modo particolare, i problemi dei docenti della scuola secondaria superiore; essi, più spesso di altri, si trovano di fronte alla necessità di organizzare o riorganizzare ex novo un laboratorio, e spesso le loro scelte sono condizionate in modo determinante dalla disponibilità di strumenti e attrezzature, proposti da poche ditte, specializzate nel settore scolastico. L'alternativa che noi proponiamo può forse consentire una scelta più individualizzata, avendo meglio chiarite le motivazioni e le inevitabili conseguenze.

Non indicheremo, salvo qualche cenno per dar concretezza al discorso, quali esperimenti scegliere per l'attività del laboratorio; ci limiteremo a discuterne le caratteristiche generali. Una di queste caratteristiche è opportuno sia messa subito in evidenza, per evitare malintesi: l'esperimento non è da noi inteso come fine a se stesso, ma si vuole sia motivato nel modo più chiaro possibile. Il perchè l'esperimento viene condotto è dunque il punto di partenza: la scelta di "quale esperimento" si sposta alla scelta di "quali perchè".

# PARTE I - IL PROBLEMA DEL LABORATORIO SPERIMENTALE DIDATTICO

## 1. LE TRE DOMANDE PRELIMINARI

Il docente che si trova di fronte alla necessità di organizzare un nuovo laboratorio, o di modificare profondamente un laboratorio esistente, dovrebbe preliminarmente rispondere alle tre domande seguenti.

### A - *Quale funzione didattica vuole assegnare al laboratorio?*

Le risposte possibili, che indicano caratteristiche prevalenti, possono essere così schematizzate:

A1 - Il laboratorio ha una **funzione didattica autonoma**; si avvale di alcune conoscenze che gli allievi acquisiscono in una sede diversa, ma sviluppa temi indipendenti.

A2 - Il laboratorio opera come **mezzo integrativo e complementare a un corso**, in dipendenza stretta da quello sia per gli obiettivi che si pone sia per i temi che sviluppa.

### B - *Quali obiettivi primari e secondari si propone con il laboratorio?*

**Tabella I. Schema di possibili obiettivi primari e secondari per il laboratorio**

| OBIETTIVO PRIMARIO  | B1) Formazione metodologica                                                                                                                                                                                    | B2) Formazione professionale                                                                                                                                                       | B3) Complemento all'insegnamento                                                                                                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OBIETTIVI SECONDARI | <ul style="list-style-type: none"><li>- Incertezza delle misure e sua valutazione</li><li>- Metodologia sperimentale</li><li>- Pratica nell'uso di strumenti semplici e fondamentali</li><li>- Altro</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Conoscenza di strumenti complessi e moderni</li><li>- Metodi di prova su componenti e su materiali</li><li>- Misure normalizzate</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Verifica sperimentale di leggi fisiche</li><li>- Definizione operativa dei concetti</li></ul> |

La tabella presenta uno schema di possibili risposte, essendo gli obiettivi secondari dipendenti dalla scelta fatta per i primari. Anche in questo caso le scelte sono da valutare in termini di caratteristiche prevalenti; ad esempio, porre quale obiettivo primario del laboratorio la formazione metodologica degli studenti significa privilegiare quegli esperimenti capaci di illustrare un determinato metodo, mentre l'obiettivo della formazione professionale condurrà a dare maggiore rilievo a esperimenti che ricalcano applicazioni diffuse e di interesse specialistico.

È opportuno osservare subito come la scelta degli obiettivi sia condizionata dal tipo di scuola nella quale il laboratorio opera e, nell'ambito di una stessa scuola, dal livello del corso. Un possibile orientamento, suscettibile ovviamente di profonde modifiche in dipendenza dalle scelte didattiche del docente, può essere il seguente :

- Formazione metodologica: licei (scientifici), corsi di scuole secondarie e universitari di misure (chimiche, elettriche, meccaniche, termiche, ecc.);

- Formazione professionale: corsi specialistici negli istituti tecnici e nelle università, laurea triennale universitaria;
- Complemento all'insegnamento teorico: licei (classici), corsi del biennio delle scuole secondarie superiori, corsi propedeutici universitari.

**C - *Quale tipo di laboratorio si intende realizzare?*** Anche in questo caso si possono schematizzare, partendo dall'esame delle situazioni esistenti, alcune risposte tipiche.

C1 - Laboratorio di tipo dimostrativo, nel quale gli studenti hanno il compito prevalente di spettatori.

C2 - Laboratorio ad uso degli studenti, con esperimenti accuratamente programmati e illustrati anche nei particolari.

C3 - Laboratorio ad uso degli studenti per l'esecuzione di esperimenti dei quali è definita la motivazione, ma metodo e procedimento sono autonomamente scelti dagli studenti stessi.

C4 - Laboratorio in cui si progetta e realizza una apparecchiatura più o meno complessa.

Sugli ultimi tre tipi possono innestarsi due fondamentali varianti:

- gli studenti operano a gruppi sullo stesso argomento (organizzazione di tipo parallelo);
- ogni gruppo affronta un argomento diverso (organizzazione di tipo serie), coordinato con gli altri o proposto in successione rotatoria a tutti i gruppi.

La prima variante impone la moltiplicazione di apparecchiature identiche, tante volte quanti sono i gruppi di studenti da servire contemporaneamente; la seconda esige un lavoro organizzativo e preparatorio spesso complesso, ma si presta assai bene per attività, ad esempio, di tipo interdisciplinare.

Le risposte alle tre domande non possono in generale essere indipendenti l'una dall'altra, né possono prescindere da condizionamenti dei quali si discuterà nel prossimo paragrafo. Qui è opportuno sottolineare che in linea di principio alle domande sarebbe bene rispondere nella successione indicata, in quanto ciascuna risposta ha come conseguenza di privilegiare talune delle risposte successive. Purtroppo, come si vedrà, i condizionamenti più forti si hanno spesso sul punto C (tipo di laboratorio); dunque spesso sarà quest'ultimo a determinare anche le altre scelte.

## **2. VARIABILI CHE CONDIZIONANO LE RISPOSTE**

### **2.1. Premessa**

Le variabili che verranno esaminate in questo paragrafo devono essere note in forma quantitativa al docente prima di formulare le sue scelte; nello stesso tempo su queste stesse variabili il docente dovrà operare, almeno in parte, quando dalla fase di programmazione passerà alla fase di realizzazione.

Per comodità di analisi le variabili sono state divise in tre gruppi ma l'ordine con il quale sono elencate non vuole in alcun modo suggerire una scala di importanza. L'esame deve essere condotto globalmente e il docente deve in qualche modo già conoscere quale di queste variabili può modificare e quali invece costituiscono un vincolo definitivo.

### **2.2 Variabili strutturali**

Con questo termine si intendono una serie di "realtà" di carattere essenzialmente oggettivo sulle quali il docente ha scarsa, se non nulla, possibilità di influire.

- **Tipo di scuola** in cui il laboratorio deve operare (liceo, istituto tecnico, università, ecc.) e corso al quale il laboratorio è in qualche modo correlato.
- **Strutture esistenti** (locali e loro dimensioni, attrezzature generali e specifiche, ecc.).
- **Ambiente sociale ed economico** nel quale la scuola vive, sia in termini di generica preparazione a monte degli studenti, sia come sbocchi scolastici e/o di lavoro a essi offerti.
- **Numero di allievi** che il laboratorio deve servire, sia in totale sia in gruppi contemporanei.
- **Disponibilità di personale tecnico**, docente e non docente, addetto al laboratorio.
- **Fondi disponibili**, a breve e a medio termine, per modificare la situazione esistente.

### **2.3. Variabili didattiche**

- **Grado di preparazione degli allievi.**
- **Rapporto esistente tra gli allievi e il laboratorio:** precedente abitudine all'attività sperimentale; spazio disponibile, sia in senso topologico sia in senso temporale, per la programmazione e la preparazione dell'esperienza; grado di politicizzazione della scuola e interesse degli allievi ad ampliamenti dei temi didattici; altro.
- **Rapporto esistente tra il laboratorio e le altre realtà interne ed esterne alla scuola:** possibilità di attività di laboratorio interdisciplinare; impiego del laboratorio per lo studio dell'ambiente in cui la scuola opera; altro.
- **Peso del laboratorio sulle modalità di valutazione degli allievi.**

### **2.4. Variabili personali**

- **Esperienza del docente.** E' opportuno dare un peso diverso all'esperienza di tipo scolastico maturata nell'insegnamento da quella acquisita in esperienze e/o aggiornamenti extrascolastici.
- **Possibilità del docente di avvalersi di esperti nella organizzazione e gestione del laboratorio;** questa possibilità può a volte essere trovata, specialmente nella scuola secondaria, mettendo insieme e coordinando le esperienze di genitori degli alunni.
- **Opinioni del docente riguardo alla definizione di “esperimento in laboratorio”.** Questo è un argomento nodale, in quanto un disaccordo tra persone che collaborano all'organizzazione del laboratorio stesso sulle caratteristiche salienti di un esperimento da condurre può generare, se non chiarito, grossi equivoci e discussioni inutili.

### **2.5. Influenza delle variabili**

**Le variabili di tipo strutturale** condizionano fortemente la scelta del tipo di laboratorio; il tipo C1 richiede strutture e fondi a un livello minimo, mentre gli altri tipi impongono un impegno finanziario e organizzativo via via crescente.

Esse condizionano invece solo parzialmente la scelta degli obiettivi del laboratorio; in generale, come si è già detto, vi saranno obiettivi più o meno adatti per un assegnato tipo di scuola, ma su di essi interverrà in modo determinante, in fase di scelta, l'aspetto didattico e personale.

**Le variabili di tipo didattico** hanno evidentemente la massima importanza nel definire le funzioni del laboratorio, anche se è opportuno ricordare che, a parità di funzioni, il laboratorio può esser fatto operare a un livello di difficoltà (nella scelta degli esperimenti, ad esempio) compatibile con la situazione didattica esistente.

**Gli aspetti di tipo personale** sono spesso sottovalutati in fase di programmazione, mentre in pratica possono essere fondamentali ai fini di una buona riuscita del programma. Un piano minimo, ma sul quale il docente si senta tranquillo, come esperienza personale e come supporti dall'esterno, può risultare didatticamente più valido di un progetto più ambizioso, non sorretto dalla esperienza necessaria.

Non è necessario aggiungere altre parole per illustrare le complesse interazioni fra le diverse variabili; un metodo di lavoro per successive approssimazioni, nell'ambito del quale la scelta viene progressivamente adeguata alle variabili, mentre resta come scopo a tempi lunghi una soluzione più complessa, può solitamente facilitare la realizzazione concreta. Fatta la scelta, il primo atto consiste nell'intervento sulle stesse variabili che hanno contribuito a definirla. Le strutture dovranno essere modificate, gli allievi preparati opportunamente, i docenti riquilibrati. La fase di realizzazione comincia dove è finita la fase di programmazione.

### 3. I MOMENTI ORGANIZZATIVI

Organizzare un laboratorio dei quale siano note funzioni, obiettivi e tipo significa prendere una serie di provvedimenti fra loro collegati. Questi provvedimenti sono stati suddivisi in cinque gruppi, con lo scopo di sottolineare meglio gli aspetti principali.

#### 3.1. *Momento strutture.*

In questo paragrafo si intende esaminare l'insieme delle caratteristiche dei locali necessari al funzionamento del laboratorio, incluse le attrezzature permanenti e gli impianti. Ci si limiterà qui all'analisi di quelle strutture che sono essenzialmente indipendenti dal tipo di laboratorio e dal genere di esperimenti che in esso verranno condotti.

**3.1.1. Locale.** Il decreto ministeriale 21 marzo 1970 approva le norme tecniche relative all'edilizia scolastica, contenute nella legge 28 luglio 1967, n. 641, pubblicata sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 134 del 1 giugno 1969<sup>1</sup>. Per i laboratori delle scuole secondarie di secondo grado cinque tabelle forniscono dati orientativi sulle dimensioni minime in funzione del numero di classi e di allievi che vi hanno accesso.

La legge prescrive inoltre che i laboratori dovranno servire (se possibile, aggiunge con prudenza il legislatore) sia per le lezioni teoriche (presumibilmente da interpretare come laboratorio di tipo C1) sia per le esercitazioni pratiche; ciò significa che agli allievi deve essere data l'opportunità di assistere, seduti e con facilità di scrittura, a esperimenti dimostrativi, e anche la possibilità di dividersi in gruppi operativi intorno a posti di lavoro. La legge infatti prevede che in tali locali siano presenti banconi attrezzati per gli insegnanti e per le esercitazioni degli allievi.

**3.1.2. Servizi.** Il laboratorio è frequentato dagli studenti; una corretta utilizzazione delle strutture deve condurre a una presenza quasi continua di utenti nel locale. È dunque corretto prevedere, secondo la legge citata, altri ambienti, eventualmente comuni a più laboratori, nei quali si svolgano lo studio e la preparazione delle esperienze e si conservino le attrezzature del laboratorio quando non sono impiegate per l'attività didattica. La legge prevede quattro tipi di ambienti di servizio al laboratorio:

- **Ambiente per la preparazione delle esperienze**, il quale dovrà disporre di sorgenti di energia e alimentazioni analoghe a quelle presenti nel laboratorio.

Qualora questo ambiente risulti mancante, potrà essere utile ottenerlo isolando una piccola parte del laboratorio mediante pannelli o armadi, riservando questa zona all'uso da parte del personale tecnico, docente e non docente, addetto al laboratorio. In questo ambiente è

---

<sup>1</sup> Si faccia anche riferimento al documento pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 33 del 10 febbraio 2009: **Intesa Istituzionale**, raggiunta nella Conferenza Unificata del 28 gennaio 2009, relativamente agli indirizzi per prevenire e fronteggiare le eventuali situazioni di rischio connesse alla vulnerabilità di elementi anche non strutturali negli edifici scolastici.

[www.pubblica.istruzione.it/areetematiche/edilizia\\_scolastica.shtml](http://www.pubblica.istruzione.it/areetematiche/edilizia_scolastica.shtml)

[www.pubblica.istruzione.it/argomenti/edilizia/anagrafe.htm](http://www.pubblica.istruzione.it/argomenti/edilizia/anagrafe.htm)

Per un aggiornamento sulle disposizioni di legge e ministeriali sull'edilizia scolastica si veda anche

<http://www.edilbase.com/normative.php?selezione=25>

[http://www.ordinearchitetti.mb.it/database/aree\\_tematiche/Leggi%20edilizia%20scolastica.pdf](http://www.ordinearchitetti.mb.it/database/aree_tematiche/Leggi%20edilizia%20scolastica.pdf)

opportuno prevedere una dotazione minima di utensili che consentano alcuni interventi di emergenza sugli strumenti: una serie di cacciaviti e una di chiavi fisse, una pinza, una morsa e un piccolo trapano da banco, alcuni cassettei con viti e dadi, un saldatore, qualche collante di rapido impiego possono permettere di risolvere con facilità la maggior parte dei guai che possono presentarsi in un laboratorio. È ovvio che l'attrezzatura di un locale per l'uso descritto dovrà essere modificata e integrata sulla base dell'esperienza acquisita nell'uso del laboratorio; in questo campo è basilare l'apporto dell'esperienza dei tecnici addetti al laboratorio e lo spirito di iniziativa con cui essi affronteranno i compiti loro affidati.

- **Studio dell'insegnante.** Non è il caso di spendere molte parole sull'utilità di un ambiente riservato all'insegnante e sul fatto che troppo spesso questo tipo di ambienti sono i primi a essere sacrificati, forse ingiustamente, quando vi sono carenze di spazio.
- **Magazzino di deposito.** Un buon laboratorio presuppone ed esige un buon magazzino ove siano raccolti gli strumenti e le attrezzature in dotazione. Assai utile è una doppia classificazione degli strumenti: funzionale e topologica. Ciascuno strumento dovrebbe essere accompagnato da una scheda sulla quale sono indicate tutte le sue caratteristiche, sono elencati gli accessori di cui dispone e le esperienze nelle quali è impiegato; sulla scheda si troverà anche a chi rivolgersi per riparazioni o manutenzioni, le revisioni e i controlli periodici ai quali lo strumento deve essere sottoposto, la sua collocazione nel magazzino, eventuali uscite dal laboratorio per prestiti o per uso in altri ambienti<sup>2</sup>.
- **Il locale per le batterie di accumulatori.** Qualora se ne preveda l'uso, è necessario attrezzare opportunamente, secondo le norme di sicurezza vigenti (in particolare l'art. 303 del D.P.R. 27-4-1955 N. 547), un locale nel quale saranno collocate le batterie di accumulatori sia durante l'uso, sia durante la ricarica periodica<sup>3</sup>.

Tra i servizi, se l'ubicazione del laboratorio è decentrata rispetto agli altri locali usati dagli studenti, non vanno dimenticati gli spogliatoi e i servizi igienici.

È anche importante poter disporre di un piccolo locale di pronto soccorso. Non previsto dalla legge in stretta connessione al laboratorio, è invece essenziale che sia ubicato nelle immediate vicinanze di esso. Questo locale sarà attrezzato in modo adatto al tipo di rischi che si corrono nel laboratorio<sup>4</sup>.

**3.1.3. Illuminazione<sup>5</sup>.** La legge prevede nei locali adibiti a laboratorio un illuminamento medio sul piano di lavoro pari a un minimo di 150 lux. È però anche sottolineato che in particolari casi può essere necessario predisporre un illuminamento concentrato di 300 lux; questo può accadere, ad esempio, in quei laboratori dove esistono banchi per il montaggio di circuiti elettronici o per l'esecuzione di messe a punto e delicate misurazioni meccaniche. In generale l'impianto di illuminazione deve svolgere la doppia funzione di integrare, quando necessario, l'illuminazione naturale e di sostituirsi completamente a essa nelle ore serali. Una doppia serie di lampade, a comando separato, può consentire risparmi di energia non trascurabili oltre ovviamente a una scelta di lampade a basso consumo.

---

<sup>2</sup> Una schedatura mediante una cartella elettronica (ad esempio una cartella Excel) può risolvere il problema in modo particolarmente efficace. Si suggerisce di scegliere come chiave primaria il numero di inventario dello strumento o apparecchio e, come chiavi secondarie, codici alfanumerici riguardanti il tipo di strumento, la sua collocazione, lo stato d'uso (in uso o in manutenzione), gli esperimenti nei quali se ne prevede l'uso (uno per colonna) e ogni altro indicatore utile per la gestione del parco delle attrezzature usate nel laboratorio. In altri fogli della stessa cartella si registreranno le indicazioni sul significato dei codici adottati. Per indicazioni di carattere generale si veda <http://www.springerlink.com/content/m34970752718p166/>

<sup>3</sup> Con una ricerca sul web alla voce "Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni" si trovano sia le norme CEI sull'argomento sia alcuni testi scaricabili gratuitamente.

<sup>4</sup> Un documento in Word utile per la organizzazione e la gestione di un locale di pronto soccorso in una scuola può essere scaricato da <http://www.ausl.re.it/Home/DocumentViewer.aspx?ID=363&TIPODOC=IAP>

<sup>5</sup> All'indirizzo <http://www.luce.polimi.it/links.htm> si trovano numerosi riferimenti utili per risolvere problemi di illuminazione. Per i riferimenti alla normativa si veda, oltre ai cataloghi UNI e CEI: [http://www.elettricolplus.it/temi/Normativa\\_Elettrica/articoli/Illuminazione\\_dei\\_locali\\_scolastici.aspx](http://www.elettricolplus.it/temi/Normativa_Elettrica/articoli/Illuminazione_dei_locali_scolastici.aspx)

Se, per ragioni di economia, è opportuno scegliere lampade al neon, è necessario curare che l'illuminamento sia uniforme e che non si abbia sfarfallio dovuto all'alternanza della tensione monofase di rete: una buona soluzione consiste nel disporre i corpi illuminanti più in alto possibile e nell'alimentarli con tensioni opportunamente sfasate, derivate da un sistema trifase.

In un laboratorio può essere necessario eseguire proiezioni, ad esempio di diapositive; spesso devono anche essere impiegati strumenti con indice luminoso (bilance analitiche, galvanometri) o essere compiute esperienze di ottica. E' dunque necessario prevedere la possibilità di oscurare l'ambiente, ad esempio con cortine nere avvolgibili; la centralizzazione dei comandi di illuminazione elettrica deve essere ubicata anche in funzione di un loro facile accesso da parte del docente durante lo svolgimento di attività con il locale oscurato.

**3.1.4. Alimentazioni di energia.** Il legislatore ha previsto che gli ambienti destinati ai laboratori debbano essere forniti di impianti flessibili e amovibili di adduzione del gas, dell'energia elettrica, dell'acqua, e di opportuni impianti di scarico. Per i soli laboratori di chimica devono essere inoltre installate cappe aspiranti. Due aspetti distinti devono essere tenuti presenti nel programmare l'installazione di questi impianti: la distribuzione ai punti di lavoro e la centralizzazione dei comandi.

La distribuzione deve essere fatta sia garantendo la sicurezza degli studenti presenti nel laboratorio (e quindi non solo rispettando le norme antinfortunistiche ma anche adottando ogni possibile soluzione tecnica che riduca al minimo i rischi), sia evitando che le linee di distribuzione intralcino il passaggio, sia ricordando che la manutenzione sulle linee a vista è più agevole e non impone rotture di pavimenti o smontaggio di contro soffittature. In generale una distribuzione dall'alto, con discese rigide e protette, rappresenta una soluzione ottimale, consentendo anche facilmente di variare la disposizione dei punti di impiego senza modifiche sostanziali e costose sugli impianti.

Le tubazioni dell'acqua, del gas, o di altri fluidi saranno dipinte utilizzando i colori prescritti dalla vigente normativa<sup>6</sup>; il rispetto delle norme tecniche, anche in aspetti apparentemente marginali, abituerà gli allievi all'uso di codici e a un linguaggio tecnico già sintonizzato con quello del mondo del lavoro.

I comandi delle alimentazioni di energia, e in particolare quelli relativi alla distribuzione di energia elettrica, dovranno essere centralizzati e il loro azionamento dovrà tassativamente essere riservato ai responsabili del laboratorio. Ad esempio, un quadro raccoglierà gli interruttori e i fusibili che sezionano e proteggono tutte le linee elettriche di alimentazione dei punti di lavoro; ivi saranno anche installati gli interruttori differenziali per le linee con tensione superiore a 50 V.

Su ciascun tavolo di lavoro vi saranno poi interruttori, in serie con i precedenti, manovrabili dagli studenti durante l'esecuzione dell'esperienza; ma l'alimentazione elettrica al tavolo deve essere consentita e attuata dal docente dopo un controllo sulla corretta impostazione dell'esperienza.

La progettazione di un quadro di distribuzione dell'energia elettrica per un laboratorio didattico non è semplice: a essa deve partecipare il tecnico, che si occuperà dei problemi di sicurezza, funzionalità e versatilità; ma un ruolo importante deve anche essere dato al docente, che dovrà indicare quale indipendenza deve esistere fra i singoli punti di lavoro o fra eventuali laboratori diversi serviti dallo stesso quadro, e quali ampliamenti o trasformazioni devono essere previste all'attività del laboratorio.

**3.1.5. I banchi da lavoro.** Le dimensioni dei banchi da lavoro, i materiali da impiegare per il piano, la localizzazione dei comandi sul banco e l'ubicazione dei banchi nel laboratorio dipendono dal tipo di laboratorio e dalla natura degli esperimenti in esso condotti. Ciò nondimeno possono essere fissate alcune caratteristiche generali, in particolare se il banco è

---

<sup>6</sup> Si veda la Tabella UNI n. 5634-97 e <http://www.oppo.it/normative/colori-tubi.htm>

destinato a servire un gruppo limitato di studenti. Le dimensioni devono essere tali da consentire agli operatori di azionare con facilità tutti gli apparecchi posti sul banco e necessari all'esecuzione dell'esperimento; una profondità dell'ordine di un metro e una lunghezza compresa in genere tra 1,5 e 2 m, tali da consentire di disporre agevolmente sul tavolo tutta la strumentazione necessaria, sembrano dimensioni sufficienti a un corretto impiego. Tavoli troppo grandi sono sconsigliabili, perchè gli studenti tendono ad appoggiarvi oggetti di ogni tipo: può essere più comodo, ove possibile, prevedere un piccolo banco di servizio, per ciascun tavolo di lavoro, da impiegare per scrivere (prevedendo anche l'uso di PC portatili), disegnare, consultare libri.

Il banco deve essere accessibile almeno su tre lati; i comandi saranno riuniti in un quadro sito ad un vertice del tavolo.

I banchi saranno ubicati in laboratorio in modo da consentire a ciascun gruppo di operare indipendentemente, senza intralci da parte dei gruppi vicini. Qualora le esperienze che verranno compiute in laboratorio richiedano l'impiego di apparecchi particolarmente sensibili agli urti ed alle vibrazioni (quali galvanometri magnetoelettrici, bilance analitiche, e simili), sarà necessario prevedere mensole o pilastri, in prossimità di ciascun banco, destinati esclusivamente a sostenere questo tipo particolare di apparecchi.

**3.1.6. Sussidi audiovisivi.** Distinguiamo questi sussidi in due categorie, secondo gli obiettivi a cui sono destinati: a) quelli previsti per illustrare l'uso del laboratorio e per descrivere l'organizzazione generale, o per mostrare particolari di strumenti e apparecchiature usati di frequente nel laboratorio; b) quelli specificamente previsti per illustrare un'esperienza che gli studenti dovranno eseguire.

**I sussidi del primo tipo** consistono principalmente in tabelloni. Ve ne saranno alcuni che ricorderanno le disposizioni di legge sulla prevenzione degli infortuni; altri sintetizzeranno le norme specifiche di accesso al laboratorio e di impiego delle sue strutture (uso delle distribuzioni di energia, accesso al magazzino strumenti, disponibilità di utensili e accessori specifici, eccetera).

Altri tabelloni conterranno informazioni di frequente pronto impiego; devono essere tavole di semplice e immediata consultazione, con prevalenza di informazioni quantitative. Esempi di questo tipo di tavole sono quelle sulle unità di misura, sulla classificazione naturale degli elementi, sui valori di costanti fisiche fondamentali, sui codici di colore dei componenti elettrici ed elettronici, e così via.

**I sussidi del secondo tipo** sono destinati a richiamare l'attenzione degli studenti sui punti salienti dell'esperienza che essi debbono eseguire. Questi sussidi divengono particolarmente utili quando l'esperienza in programma è preventivamente descritta e commentata a un gruppo numeroso di studenti, i quali poi accedono al laboratorio in gruppi più ristretti e in tempi successivi.

La proiezione di alcune diapositive o trasparenze, sincronizzate con un sintetico commento sonoro, o di un breve film immediatamente prima dell'esecuzione dell'esperienza, ridesta negli studenti la memoria della spiegazione già avuta, sottolineandone gli aspetti più importanti; il docente è svincolato da un discorso ripetitivo e può concentrarsi sulle situazioni imprevedibili, che costituiscono la regola di qualunque laboratorio. Può essere utile prevedere in laboratorio un PC destinato esclusivamente a questo tipo di proiezioni, eventualmente anche accessibile dagli studenti per copiare su un loro chiavetta USB il materiale didattico messo a disposizione.

Attrezzare un laboratorio con sussidi audiovisivi di questo genere non è solo un problema finanziario e di scelte; la maggior parte del materiale deve essere appositamente studiata e realizzata, in modo da integrarsi con gli scopi didattici che il laboratorio si propone. La dotazione di sussidi, ampliandosi e migliorandosi con il tempo, costituirà un patrimonio validissimo per il laboratorio e a lungo andare ripagherà ampiamente del lavoro fatto per la loro preparazione.

Va peraltro ricordato sia che i supporti magnetici e ottici usati per tali audiovisivi vanno periodicamente trasferiti sui supporti di nuova generazione, sia che il materiale audiovisivo destinato a commentare attività di laboratorio nel caso di settori in rapido sviluppo può risultare altrettanto rapidamente obsoleto.

### **3.2. Momento sicurezza**

Il problema è già stato richiamato più volte nei paragrafi precedenti.

La legge (art. 3 del D.P.R. 27/4/1955 n. 547 apparso sul suppl. ord. della Gazzetta Ufficiale n. 158 del 12 luglio 1955<sup>7</sup>) assimila gli studenti ai lavoratori dipendenti; in un laboratorio debbono quindi essere in atto tutti i sistemi di protezione ed essere rispettate tutte le regole per la prevenzione degli infortuni che si adottano (o si dovrebbero adottare) negli ambienti di lavoro.

La situazione del laboratorio è in generale più critica di quella di un ambiente di lavoro nel quale si compiono attività dello stesso tipo. L'età degli utenti, lo spirito particolare con cui sovente gli studenti accedono alla purtroppo inconsueta attività manuale, la necessità didattica di far compiere delle operazioni sperimentali sempre per la prima volta (la scuola è la sede nella quale, per sua natura, quasi ogni cosa viene fatta per la prima volta), tutto ciò è causa di pericolo e impone il raddoppio delle attenzioni e dei sistemi di protezione.

La progettazione di un laboratorio nel quale si svolgono esperimenti che richiedono l'uso della corrente elettrica deve essere fatta curando al massimo il problema della protezione passiva dal rischio di folgorazione. Il pavimento sarà di materiale isolante elettrico (legno, linoleum o simili); tutte le parti metalliche, non solo degli strumenti, ma anche delle attrezzature e degli impianti (quadri, rete di distribuzione del gas, dell'acqua, del riscaldamento, armadi, eccetera) che possono venire in contatto con la rete di distribuzione saranno collegate a terra in modo idoneo. Apposite strisce sul pavimento o, meglio, delimitazioni fisiche, anche se amovibili, delimiteranno le zone di pericolo in prossimità di macchine in movimento o di punti in tensione accessibili per esigenze sperimentali. Ove il caso, dovranno essere disponibili, e gli studenti dovranno essere obbligati ad usarli, tutti i sistemi di protezione individuale (caschi, occhiali, guanti, eccetera).

Cartelli richiameranno gli studenti alle norme di comportamento ed elencheranno i loro doveri; il docente dovrà assicurarsi che le direttive siano state comprese e assimilate e dovrà verificare che vengano senza eccezioni rispettate.

Le protezioni passive possono però essere insufficienti; l'abitudine all'uso della strumentazione e le particolari condizioni di impiego della strumentazione imposte dagli obiettivi didattici (lo studente, per imparare, deve montare sul momento l'esperienza, e perciò lavora in condizioni di sicurezza relativa) aumentano le possibilità di incidenti. Si dovranno pertanto predisporre dei sistemi di protezione attivi, costituiti da interruttori differenziali, trasformatori di isolamento, analizzatori di gas tossici collegati a un sistema di allarme, e simili.

Infine dovrà essere disponibile e attrezzato un locale di pronto soccorso. Dovrà in esso essere reperibile un complesso di istruzioni elementari da attuare in caso di incidente, partendo dai numeri telefonici per raggiungere un medico e chiamare un'autoambulanza fino ad arrivare a elementari informazioni sul comportamento da tenere nei diversi casi, in attesa dell'arrivo di persone qualificate. In caso di infortunio nulla può essere improvvisato; i responsabili delle attività devono sapere esattamente come comportarsi e ogni atto deve essere stato programmato e reso possibile con un'adeguata organizzazione preventiva.

---

<sup>7</sup> La legge alla quale fare riferimento oggi è il ben noto D.L. 626 del 1964 e successive modifiche e integrazioni. Si rammenta che tale legge modifica sostanzialmente alcuni articoli del Decreto del presidente della Repubblica del 19 marzo 1956, n.303. Un quadro sintetico sulla legislazione relativa alla sicurezza, con particolare riferimento alle scuole, si trova in [http://www.amblav.it/Download/DA\\_39-02\\_normativa.pdf](http://www.amblav.it/Download/DA_39-02_normativa.pdf) (aggiornato al 1999) e in <http://www.paginescuola.it/1/1.htm> (aggiornato a luglio 2003) e in <http://www.edscuola.it/archivio/sicurezza.html> (raccolta di documenti, leggi, guide, aggiornata al 2008). Per quanto attiene alla valutazione del rischio di incidenti si vedano le norme UNI-EN 1050 e MIL-STD 882C.

I sistemi di protezione non saranno sufficienti a prevenire incidenti se a essi non viene affiancata una convinta e convincente opera di educazione. Conoscenza tecnica dei pericoli oggettivi, conoscenza delle norme che stabiliscono i sistemi di protezione, rispetto verso se stessi e verso gli altri, responsabilizzazione: se questi atteggiamenti divengono un patrimonio degli studenti, saranno essi i primi a chiedere gli strumenti di protezione.

Molte soluzioni per la protezione e la prevenzione degli infortuni non sono né costose, né difficili da attuare. Avere in laboratorio un estintore adatto al tipo di combustibile ivi presente e agli impianti del laboratorio, invece di un estintore qualsiasi, non significa una spesa maggiore, ma una spesa utile in luogo di una spesa che può essere addirittura dannosa. Se poi certe decisioni vengono attuate in fase di progetto e costruzione, il loro costo può essere addirittura nullo.

### **3.3. Momento didattico.**

Il docente ha a disposizione, a questo punto, un locale idoneo, con i servizi essenziali, i punti di lavoro provvisti di alimentazioni di energia, i sistemi di protezione efficienti e collaudati. Deve ora provvedere all'attrezzatura generale, alla scelta degli esperimenti da compiere e all'acquisizione della strumentazione specifica per la loro esecuzione. Prima però deve definire e meglio delimitare l'aspetto didattico del laboratorio.

Una scelta di massima sarà già stata fatta, rispondendo alle tre domande preliminari poste all'inizio di questo studio. Avendo però ormai ben definito l'insieme di condizioni nelle quali il laboratorio deve operare, il docente potrà definire meglio il contenuto operativo delle risposte date e stendere un programma didattico. Il momento didattico può essere articolato in quattro fasi.

**3.3.1. Scelta del programma.** Avendo stabilito la funzione e gli obiettivi del laboratorio e il tipo di laboratorio che si vuol attuare, è ormai fissato il tipo di programma che si deve predisporre. Si tratta ora di fissarne i contenuti, cioè di delineare la progressione degli argomenti e i rapporti che tali argomenti hanno con l'evoluzione delle conoscenze degli studenti al di fuori del laboratorio. Nello stendere questo programma, che ancora non definisce gli esperimenti, ma fissa piuttosto una progressione di concetti e di apprendimento, si deve tener presente che possono sussistere contrasti fra la logica evoluzione sperimentale e lo sviluppo delle conoscenze disponibili da parte degli studenti. Questi contrasti devono essere evidenziati nel programma generale perché in seguito se ne dovrà tener conto nella scelta delle esperienze. La stessa esperienza può essere condotta, peraltro, accentuando l'uno o l'altro dei suoi molteplici aspetti secondo le conoscenze disponibili nell'esecutore.

Questo tipo di vincoli al programma impone a volte l'impiego di uno strumento o di una apparecchiatura senza che allo studente sia ancora noto né il principio di funzionamento né il tipo di fenomeno sul quale lo strumento fornisce indicazioni. Nel programma generale si dovrà pertanto sottolineare quali concetti, quali metodi, quali obiettivi si intendono proporre agli studenti e, in parallelo, quale livello di conoscenze, in settori connessi alla disciplina a cui è indirizzato il laboratorio, gli studenti acquisiscono. Anche operando in un laboratorio già costituito si hanno a disposizione soluzioni in numero maggiore di quelle attuabili nel tempo che gli studenti possono dedicare al laboratorio: questo modo di formulare preventivamente un programma generale faciliterà la scelta sperimentale, adeguandola al programma in ogni suo momento. Ad esempio, un esperimento di pesata, motivato dalla necessità di conoscere la massa dei componenti che partecipano a una reazione chimica, potrà essere condotto accentuando l'aspetto metodologico (tecniche di doppia pesata, uso della tara), o studiando con metodi statistici la ripetibilità dello strumento, o semplicemente cercando di ottenere l'informazione voluta sostanzialmente disinteressandosi del comportamento dello strumento impiegato; il programma generale prevedrà nei tre casi tre diversi obiettivi da richiedere allo stesso esperimento. Viceversa, lo stesso obiettivo, ad esempio *apprendere le modalità di inserzione e di impiego di strumenti elettrici*, può essere raggiunto con esperimenti assai diversi tra loro come motivazioni e come contenuti operativi:

- determinare il costo orario di una lampadina accesa tramite misure di corrente e tensione;
- misurare su una linea o su un secondario di un trasformatore la variazione di tensione nel passaggio da vuoto a carico;
- impostare una misura di resistività, aprendo il problema delle proprietà dei materiali e della loro dipendenza dalle condizioni operative (nell'esempio fatto, prevalentemente la temperatura).

In sintesi, il programma generale prenderà in considerazione una successione di metodi sperimentali, di strumenti da impiegare, di principi su cui basare l'esperimento, prescindendo dalla dotazione del laboratorio, della quale si dovrà tener conto nella fase di scelta delle esperienze.

**3.3.2. Analisi dei risultati.** Il laboratorio, qualunque sia il tipo scelto, richiede, per essere assimilato dagli studenti in modo completo, una preparazione specifica a monte e una discussione e analisi dell'attività svolta a valle. La preparazione riguarda non solo l'illustrazione delle basi, teoriche e pratiche, necessarie alla comprensione dell'attività del laboratorio, ma anche e soprattutto la preparazione dell'esperienza da compiere, attraverso la discussione collegiale delle sue motivazioni, dei suoi procedimenti, degli aspetti pratici più minuti.

L'analisi conclusiva, non soltanto dei risultati, ma dei metodi impiegati, delle difficoltà sperimentali, delle varianti possibili, costituisce un momento essenziale dell'attività del laboratorio; senza di essa l'esperienza resta un fatto isolato, non rielaborato individualmente dallo studente.

In generale il docente deve programmare, per ogni ora di laboratorio, almeno un'altra ora tra preparazione e analisi dell'esperienza con gli allievi. E' certo meglio far compiere un numero ridotto di esperienze ben programmate e analizzate a fondo, piuttosto che numerose esperienze improvvisate e non analizzate.

Per quanto riguarda il problema dell'analisi dell'esperienza di laboratorio, è bene che gli studenti vengano abituati fin dall'inizio a compierla essenzialmente per conto proprio e per iscritto.

La relazione sperimentale, da scrivere immediatamente dopo, o addirittura durante, l'attività in laboratorio, deve divenire un'abitudine, una forma sistematica di analisi e sintesi dell'esperimento.

Molti volumi<sup>8</sup> sono stati scritti sull'importanza della relazione sperimentale e sulla forma che essa deve assumere. Basta qui ricordare che lo studente deve essere abituato a trascrivere nella relazione tutte le informazioni necessarie a ripetere l'esperimento nelle stesse condizioni per verificare se vi è corrispondenza fra i risultati ottenuti. Si osservi che questo atteggiamento mentale, di fronte a una relazione su un'esperienza di laboratorio, è estendibile a moltissimi altri settori; pressoché qualsiasi attività richiede la trasmissione ad altri di conoscenze acquisite e la forma attraverso la quale attuare questa trasmissione può essere facilmente assimilata attraverso la sistematica compilazione di relazioni sperimentali. Il medico di fronte alla cartella clinica del paziente, il rappresentante commerciale di fronte alla situazione dei clienti nella zona a lui affidata, il collaudatore di fronte al prototipo, tutti dovrebbero

---

<sup>8</sup> La ricerca sul Web di schemi di relazione di laboratorio conduce a risultati in gran parte sconcertanti. Ad esempio è ben difficile trovare schemi che impongano l'esecuzione della stima dell'incertezza da associare ai risultati e del livello di confidenza attribuito a tale stima. Fornisco comunque qualche suggerimento per orientarsi tra le molte proposte presenti sul Web: limitarsi a proposte provenienti da organismi conosciuti, universitari o di associazioni di docenti; prendere in esame relazioni di studenti solo per rendersi conto di quali errori contengono; trascurare esempi che non mettano al primo punto l'illustrazione dello scopo dell'esperimento. Un modo "allegro", ben confezionato, di affrontare la relazione lo si trova in [http://bibscienze.unimi.it/fisica/studenti/relazione\\_primaparte.pdf](http://bibscienze.unimi.it/fisica/studenti/relazione_primaparte.pdf) . Una suggestiva raccolta di "perle" colte nelle relazioni degli studenti, utile da leggere se si è di cattivo umore, la si trova in <http://www.luciadelcorso.it/perlelab.html> . Buoni suggerimenti e schema (ma con mancanza totale di indicazioni sulla valutazione dell'attendibilità dei dati misurati, l'incertezza) si trova in <http://www.itigadda.it/public/file/fisica%20prof%20Starita/La%20relazione%20di%20laboratoriointeg.pdf> .

comportarsi come lo sperimentatore di fronte all'esperimento e saper fornire in modo organico e completo tutte le informazioni necessarie.

Il docente suggerirà agli studenti uno schema di massima per la compilazione della relazione, che comprenderà: la definizione delle motivazioni dell'esperimento e la definizione del misurando, la descrizione dell'apparato sperimentale e degli strumenti e accessori impiegati (con l'indicazione sia dei dati che ne consentono l'esatta individuazione, sia delle caratteristiche salienti che permettono la comprensione delle principali caratteristiche funzionali), l'elencazione degli atti compiuti, la raccolta organica dei dati sperimentali e delle condizioni ambientali e strumentali nelle quali l'esperimento viene condotto, i criteri e le relazioni matematiche per l'elaborazione dei dati, l'analisi dei risultati ottenuti con un giudizio circa la risposta alla motivazione dell'esperimento, la discussione sulla qualità dell'esperimento (analisi degli errori e stima dell'incertezza), su possibili varianti, sulle difficoltà incontrate.<sup>9</sup>

Lo studente dovrà apprendere, poco per volta, a innestare sullo schema generale della relazione quelle varianti che risultano peculiari di ciascuna esperienza. Sottolineerà pertanto, e amplierà, quelle parti che meglio descrivono gli obiettivi dell'esperienza specifica, siano esse relative alla descrizione della strumentazione, o alla metodologia, o all'elaborazione dei dati sperimentali, o alla loro analisi.

Il processo di analisi, e anche quello di preparazione, dell'esperienza possono essere resi più efficaci se gli studenti vengono abituati a lavorare in gruppo. Un gruppo è costituito da tre, al massimo quattro, studenti (la limitazione numerica nell'attività sperimentale assume un'importanza primaria) che collaborano fra loro in tutte le attività connesse al laboratorio per tutta la durata dell'anno scolastico. Nella fase di preparazione il gruppo, se è prevista un'attività sperimentale direttamente svolta dagli allievi, programmerà i particolari di esecuzione e la divisione dei compiti fra i componenti. Il docente raccomanderà che questa divisione di mansioni non si congeli in una specializzazione di compiti, ma che a rotazione i componenti del gruppo siano responsabili di tutte le possibili attività parziali (montaggio dell'impianto sperimentale, raccolta ed elaborazione dei dati, preparazione della relazione, studio delle metodologie). La relazione, compilata collegialmente dal gruppo, costituirà un'occasione di discussione, di approfondimento e di sistematizzazione dei concetti appresi.

**3.3.3. Audiovisivi.** Già si è detto, trattando del momento strutture, quali caratteristiche generali debbano avere i sussidi audiovisivi da impiegare in un laboratorio didattico. In questa fase il docente dovrà decidere, esaminate le disponibilità, quali impiegare nel corso dello svolgimento del programma e se è il caso di prepararne di nuovi. La preparazione di sussidi audiovisivi, siano essi tabelloni, o diapositive, o filmati, richiede in generale uno sforzo organizzativo (ed economico) giustificabile solo se l'impiego dei sussidi è previsto per tempi lunghi, per un numero elevato di studenti, e risulta utile nel facilitare l'apprendimento.

E' estremamente difficile fornire indicazioni, anche solo di larga massima, sui casi nei quali questi sussidi possono proficuamente facilitare l'apprendimento. Il tipo di allievi, il loro numero, la loro abitudine all'astrazione, il tipo di disciplina alla quale il laboratorio si riferisce: sono tutte variabili delle quali il docente deve tener conto, affidandosi in definitiva alla propria esperienza e alla conoscenza dell'ambiente in cui opera per decidere se e quali sussidi predisporre e impiegare.

**3.3.4. Valutazione.** L'attività di laboratorio può concorrere in diversi modi alla formulazione della valutazione dello studente: può concorrervi direttamente, come componente

---

<sup>9</sup> È importante che gli studenti siano informati sull'esistenza di norme che riguardano alcuni degli argomenti trattati nelle loro relazioni, quali le norme sulla stima dell'incertezza, le norme che riguardano particolari tipi di misure e prove, e molte altre ancora. La conoscenza della normativa costituisce oggi un patrimonio essenziale in qualunque situazione lavorativa; la non conoscenza può condurre a gravi errori e a situazioni penalizzanti. Di particolare importanza è la normativa sulle verifiche di conformità a specifiche, purtroppo esistente solo per alcuni settori. I cataloghi degli enti normativi italiani ([www.uni.com](http://www.uni.com), [www.ceiuni.it](http://www.ceiuni.it)) e internazionali ([www.iso.org](http://www.iso.org), [www.iec.ch](http://www.iec.ch), [www.cen.eu/cenorm/index.htm](http://www.cen.eu/cenorm/index.htm), [www.cenelec.eu](http://www.cenelec.eu)) dovrebbero essere sempre disponibili e consultabili in ogni scuola.

indipendente o, indirettamente, attraverso la facilitazione del processo di apprendimento da essa provocata. Dare in questo settore dei criteri di carattere generale è estremamente difficile. Il docente deve però decidere quale peso intende dare, in fase di valutazione, all'attività svolta dall'allievo in laboratorio prima di programmare il modo di condurre questa attività; è infatti evidente che tanto più alto sarà il peso di questa attività sul giudizio che l'insegnante darà, tanta maggiore dovrà essere l'autonomia lasciata all'allievo.

### **3.4. Momento attrezzature**

Fissato il piano didattico generale con la sequenza temporale dei concetti e delle tecniche che gli allievi devono apprendere mediante l'attività di laboratorio, il docente deve procedere nella scelta degli esperimenti più idonei a consentire tale apprendimento. Perché questa scelta sia eseguibile senza vincoli eccessivi, il laboratorio deve essere provvisto di una attrezzatura di carattere generale, fra la quale sia agevole selezionare di volta in volta gli apparecchi idonei all'esecuzione dell'esperimento.

E' opportuno prevedere solo un limitato numero di esperimenti che richiedano l'uso di apparecchiature specifiche, non impiegabili per alcun altro esperimento; queste apparecchiature, infatti, risultano in generale costose e poco utilizzate e non consentono di ampliare la versatilità del laboratorio.

Esaminiamo nei dettagli queste scelte.

**3.4.1. Attrezzatura generale.** Ciascun laboratorio deve disporre di un'attrezzatura di carattere generale, diversa a seconda della disciplina alla quale il laboratorio è dedicato. Questa attrezzatura comprende apparecchi che, combinati opportunamente fra loro, consentono di eseguire la maggior parte delle esperienze, e strumenti e attrezzi di uso generale. Ad esempio, un laboratorio di elettronica generale può annoverare fra l'attrezzatura di carattere generale gli oscilloscopi, i generatori di funzione, i multimetri, i convertitori (AD e DA) e i frequenzimetri; un laboratorio di fisica disporrà, per il settore meccanico, di cronometri, di comparatori a quadrante (didatticamente più idonei di quelli digitali) per la misura di piccoli spostamenti, di dinamometri, mentre per il settore termodinamico disporrà di termometri di diverso tipo, di fornelli e di calorimetri.

E' importante privilegiare questo tipo di attrezzatura, rispetto ad altre più sofisticate e di più specifico impiego, per diversi motivi. Il rapporto costo-utilizzazione è senza dubbio minore; trattasi in generale di strumentazione d'uso frequente e che quindi è opportuno che lo studente impari a impiegare correttamente; l'uso della stessa strumentazione in diverse esperienze consente di concentrare l'attenzione dell'allievo non sul mezzo tecnico che impiega ma sul modo di impiegarlo per un determinato fine e sul fine stesso.

Quando gli studenti svolgono l'attività di laboratorio in modo autonomo a piccoli gruppi è essenziale che la loro attenzione non venga concentrata sulla soluzione di problemi accidentali di carattere marginale; come esempio limite, non devono perdere mezz'ora per reperire la chiave adatta per serrare un dado accidentalmente allentato.

Il laboratorio deve pertanto disporre di tutta l'attrezzatura per pronti interventi e per rapidi controlli, necessaria per risolvere i mille piccoli inconvenienti che si possono presentare durante l'attività sperimentale. Una soluzione ideale è quella che prevede di assegnare a ciascun gruppo di studenti, all'inizio del ciclo didattico che comprende l'attività di laboratorio, un minimo di attrezzatura di pronto intervento che consenta loro di risolvere in modo autonomo una parte considerevole di problemi; questa attrezzatura sarà conservata, a cura di ciascun gruppo che ne risponderà a fine ciclo al docente, in un apposito cassetto o scaffale accessibile solo al gruppo. Si tratterà, a seconda del tipo di laboratorio, di alcuni utensili fondamentali (cacciaviti, pinze, e così via), di strumenti d'uso generale e di semplice impiego (tester), di accessori vari (un po' di vetreria da laboratorio e alcuni reagenti per un laboratorio di chimica, ad esempio).

**3.4.2. Gli esperimenti.** Al momento della scelta degli esperimenti il docente dispone di due

informazioni: quali conoscenze gli allievi devono acquisire e quali sono le attrezzature generali del laboratorio. La scelta dell'esperimento può sembrare a questo punto obbligata: in realtà è determinante non tanto quale esperimento scegliere ma come presentarlo agli allievi affinché sia massima l'efficacia didattica. Un esempio può aiutare a chiarire questo aspetto fondamentale dell'organizzazione di un laboratorio.

Supponiamo, in un laboratorio di misure elettriche, di voler affrontare tramite un esperimento uno dei seguenti temi:

- metodi per misure di resistenza in corrente continua a basso livello di precisione;
- uso di strumenti indicatori in corrente continua;
- effetti dell'inserzione degli strumenti di misura in un circuito;
- applicazioni della legge di Ohm.

Nei quattro casi l'esperimento potrà avere come oggetto la misura della resistenza in corrente continua di un bipolo passivo, impiegando un voltmetro e un amperometro. Il problema è quale bipolo scegliere (scelta e definizione del misurando) e quale scopo indicare agli studenti per l'esperimento. E' ovvio che una presentazione dell'esperimento che indichi agli allievi come scopo la soluzione di un problema didattico risulta arida e per loro di scarso interesse.

Una soluzione soddisfacente può essere la seguente. Il misurando è la resistenza di una lampadina nonché, tramite essa e la corrente assorbita, la potenza elettrica assorbita dalla lampadina stessa.

Lo scopo dell'esperimento è la determinazione della efficienza luminosa fornita dalla lampadina in condizioni di funzionamento nominale, espressa come rapporto tra potenza luminosa fornita e potenza elettrica assorbita. Si preciserà agli studenti che la misura della potenza luminosa verrà fatta in altra sede, o da altri (oppure la si comunicherà come già eseguita), e che può essere (o è stata) compiuta con una incertezza tra il 5% e il 10%. Loro compito è la determinazione della potenza elettrica assorbita in condizioni di funzionamento nell'intorno delle condizioni nominali.

Con queste informazioni gli studenti potranno:

- comprendere le motivazioni dell'esperimento e, se il docente fornirà loro il valore della potenza luminosa fornita dalla lampadina, deducibile dai cataloghi, giungere a una informazione chiara e utile ed eventualmente confrontare fra loro lampadine di diversi costruttori sotto l'aspetto dell'efficienza luminosa;
- stabilire che è sufficiente condurre la misura con una incertezza dell'ordine di qualche percento, perché è inutile sprecare soldi e tempo per misurare meglio la potenza elettrica quando la potenza luminosa, altro elemento del problema, è conosciuta con scarsa precisione;
- scegliere il metodo di misura capace, con la strumentazione più semplice, di fornire l'informazione voluta.

Ovviamente gli studenti saranno guidati dal docente in questi ragionamenti; l'obiettivo resta quello di renderli capaci, noto il misurando e lo scopo della misura, di fissare l'incertezza con cui deve essere condotta la misura e di scegliere il metodo sperimentale e la strumentazione adatta per conseguirla.

Lo scopo dell'esperimento deve essere scelto in modo da far operare gli studenti nell'ambito di un problema concreto, per il quale sia ben chiaro un fine pratico immediato e l'applicabilità alla realtà di tutti i giorni. E' nostro parere che un esperimento condotto al solo fine di dimostrare l'esistenza di un fenomeno fisico o la validità di una cosiddetta legge fisica, magari impiegando un ingegnoso e quanto mai astratto marchingegno, venga rapidamente dimenticato dagli studenti; essi tendono infatti a classificarlo come uno dei tanti inutili giochi intellettuali presentati dalla scuola, senza riferimenti alla realtà e pertanto del tutto privo di

interesse.

Queste osservazioni sono soprattutto vere per i laboratori di fisica; in essi gli armadi sono pieni di apparecchi con strani nomi, inventati decine o centinaia di anni fa, quando nasceva la fisica. È proprio necessario dimostrare oggi agli studenti l'esistenza della pressione atmosferica (quando possono constatarne gli effetti ogni giorno aprendo una lattina di caffè?) oppure il fatto che i solidi aumentano di volume con la temperatura (quando basta osservare il diverso gioco esistente fra le rotaie del tram in un giorno d'inverno e in uno d'estate?)

Il principio dei vasi comunicanti viene mostrato solitamente agli studenti mediante apparecchi dalle stranissime forme; da migliaia di anni lo stesso principio è applicato dai muratori quando vogliono porre sullo stesso piano orizzontale parti diverse di una costruzione. Basterà un tubo di plastica lungo un paio di metri parzialmente riempito d'acqua (o di altro liquido, per comprendere anche gli effetti di una diversa massa volumica (solitamente i fisici usano: massa specifica) e assegnare il problema di porre una tavola in orizzontale, o con un angolo assegnato rispetto al piano orizzontale, per far compiere agli studenti tutta la necessaria esperienza sui vasi comunicanti. Il docente dovrà preoccuparsi di motivare la necessità di porre la tavola in quella data posizione: servirà di appoggio a uno strumento; sarà il piano di un biliardo; simulerà il traguardo per una operazione di livellamento sul terreno; e così di seguito.

In conclusione, la scelta dell'esperimento è contemporaneamente scelta della motivazione e scelta dell'obiettivo didattico che si vuol conseguire.

Si può ancora aggiungere una considerazione generale: l'esperimento è tanto più utile quanto più è in grado di fornire risultati quantitativi.

L'esperimento puramente dimostrativo, per quanto ben condotto e appariscente, difficilmente può essere collegato alla realtà; la conoscenza del mondo che ci circonda è sempre più di tipo quantitativo, esprimibile attraverso i risultati di misure; inoltre l'analisi dei risultati di un esperimento, la valutazione degli errori e la verifica del fatto che lo scopo prefissato è stato raggiunto, tutto questo può essere compiuto solo se l'esperimento ha fornito risultati quantitativi.

Quanto detto sin qui non esclude peraltro la possibilità e l'opportunità di svolgere in laboratorio esperimenti dimostrativi. Per coinvolgere l'interesse degli studenti può essere utile inquadrare l'esperimento e la legge che si intende dimostrare in un percorso di storia della scienza, sottolineando l'importanza che in quel caso l'esperimento ha avuto per affermare una teoria e respingerne altre alternative.

**3.4.3. Attrezzature speciali.** Queste attrezzature costituiscono in generale l'impegno finanziario più rilevante per un laboratorio; il loro acquisto va dunque limitato ai casi di indiscutibile e motivata necessità. Vi sono esperimenti di rilevante importanza pratica e di elevato interesse didattico che non possono essere condotti se non disponendo di apparecchiature specificamente indirizzate a questo scopo. Appartengono a questa categoria la maggioranza delle misure di proprietà dei materiali, condotte con lo scopo di selezionare in base ad una certa proprietà il materiale più adatto per una assegnata applicazione. Esse devono essere compiute con metodi e strumentazione normalizzati ed è opportuno che lo studente si abitui a impiegare strumentazione quanto più possibile simile a quella usata nella realtà del mondo industriale.

È ad esempio impensabile poter effettuare la misura della cifra di perdita di lamierini di materiale ferro magnetico senza l'apparecchio di Epstein, o di poter misurare il coefficiente di dilatazione lineare di un materiale senza un adatto dilatometro, o di eseguire la determinazione della massa volumica relativa all'acqua di un solido senza un'adatta bilancia idrostatica.

Nella scelta delle attrezzature speciali andranno privilegiate quelle che consentono di eseguire più di un esperimento dello stesso tipo, con scopi e modalità diverse. Si è già notato come risulti utile, quando il tempo disponibile nell'ambito del programma lo consente, impiegare più volte gli stessi strumenti; l'acquisita confidenza con essi consente agli studenti di approfondire altri aspetti del problema sperimentale, come il metodo, la valutazione dei risultati e così via.

Infine è opportuno notare come non sia indispensabile che gli studenti, nell'impiegare per la prima volta un'attrezzatura speciale, ne comprendano compiutamente il principio di funzionamento e le possibilità d'uso. In molti casi lo strumento può essere visto dall'utente come una scatola che, interagendo da un lato con il misurando e dall'altro con l'osservatore, fornisce a quest'ultimo informazioni quantitative sul primo; come queste informazioni vengono acquisite dallo strumento e in esso elaborate può restare non noto all'utente, se ciò esula dai fini didattici che l'esperimento si propone. È in generale più utile imparare a impiegare in modo corretto uno strumento complesso, del tutto simile a quelli impiegati al di fuori del laboratorio per lo stesso scopo, senza comprenderne appieno il modo di funzionare, piuttosto che adoperare un surrogato senza parentele con la realtà ma realizzato in modo da evidenziare il modo di operare.

### **3.5. Momento mantenimento.**

Organizzato e attrezzato il laboratorio per realizzare gli esperimenti scelti, il docente deve preoccuparsi di mantenere il laboratorio in stato di piena efficienza. Il decadimento di un laboratorio didattico può, infatti, essere assai rapido se non si prendono provvedimenti iniziali opportuni.

Con decadimento si intende non soltanto il deterioramento delle caratteristiche della strumentazione conseguente a guasti, perdite, usura naturale, ma anche, e forse soprattutto, il progressivo aumento nella difficoltà d'impiego corretto del laboratorio man mano che ci si allontana nel tempo dal momento dell'organizzazione iniziale.

Due fatti facilitano questo fenomeno dell'aumento della difficoltà d'uso: certe scelte fatte vengono utilizzate e verificate una prima volta e poi dimenticate, o contraddette negli anni successivi perchè risulta carente la documentazione sull'organizzazione effettuata; l'esperienza via via acquisita nell'uso del laboratorio non viene registrata, imponendo pertanto di continuare ad agire in clima di improvvisazione.

Nell'esaminare quanto verrà detto in questo paragrafo, si tenga presente che un buon lavoro iniziale di organizzazione, tendente a rendere automatica ogni operazione da compiere nel laboratorio, è certo gravoso e impegnativo ma, negli anni successivi, ripaga ampiamente il docente del tempo a esso dedicato.

**3.5.1. La sistemazione della strumentazione.** Come già si è detto parlando delle strutture, il laboratorio deve disporre di armadi ove conservare la strumentazione quando non viene impiegata per realizzare gli esperimenti. Ciascuno strumento disporrà di un posto ben definito, che sarà citato sul registro generale di inventario (si veda in merito la nota al paragrafo 3.1.2, Magazzino di deposito). Su tale registro saranno anche annotati, oltre ai dati caratteristici dello strumento, le informazioni sulla sua storia, i guasti e le riparazioni subite, gli esperimenti nei quali viene impiegato. Il registro può comodamente essere sostituito da uno schedario elettronico, con una scheda per ciascuno strumento.

Può essere consigliabile disporre di due schedari: uno con gli strumenti classificati per funzioni; l'altro con gli strumenti classificati secondo la loro posizione negli armadi. Il primo servirà per reperire i dati relativi agli strumenti che sono disponibili e che risultano idonei a compiere una data funzione; il secondo consentirà di mantenere sotto controllo la strumentazione, facilitando periodiche verifiche dell'inventario.

Sul secondo schedario verranno anche segnalati i prestiti di strumenti, con riferimento ad un apposito registro prestiti da tenere sempre aggiornato.

Ricorrendo a una schedatura mediante calcolatore, un unico schedario, ordinato di volta in volta secondo l'indice di interesse, può facilitare e ampliare l'accesso alle informazioni necessarie. Si raccomanda peraltro di effettuare periodiche copie dei documenti importanti residenti sul PC.

Per ogni esperimento programmato esisterà una cartella contenente l'elenco dettagliato e analitico della strumentazione e degli accessori necessari, un'indicazione dello scopo e degli obiettivi didattici conseguibili con l'esperimento, la descrizione del procedimento, una

esemplificazione dei risultati ottenibili e della loro analisi. Nella cartella verranno man mano aggiunte le osservazioni salienti sulla conduzione dell'esperimento con gli studenti, sulle difficoltà incontrate, sui possibili inconvenienti e sul modo di porvi rimedio. Anche questo tipo di cartella può essere comodamente implementata e gestita mediante una cartella elettronica su un PC.

Questa documentazione, che andrà via via arricchendosi con il tempo, costituisce il patrimonio più importante di un buon laboratorio. Uno strumento può essere facilmente rimpiazzato: non così l'esperienza accumulata, la conoscenza dei piccoli trucchi con i quali risolvere situazioni aggrovigliate.

Quanto più l'esperimento è corredato di informazioni, su possibili varianti, su osservazioni e domande particolari fatte dagli studenti, sulle motivazioni che sono alla base della scelta proprio di quell' esperimento, sulle conoscenze che gli studenti devono avere per condurlo in maniera corretta, tanto più sarà facile eseguirlo, commentarlo e inquadrarlo nel programma generale.

Perché tutto ciò sia possibile è necessario che esista un responsabile unico del laboratorio. Con lui collaboreranno tutti gli utenti del laboratorio: ma la sistematizzazione della raccolta delle informazioni, il controllo della funzionalità degli strumenti, dei prestiti, della manutenzione, deve essere gestito da una sola persona. Quanto meglio questa eseguirà il suo compito tanto meglio si troveranno i diversi utenti (docenti e studenti) e tanto più facile sarà il passaggio delle consegne a un nuovo responsabile o a nuovi docenti.

**3.5.2. Manutenzione.** Se durante lo svolgimento di un esperimento si osservano guasti alla strumentazione, questi vanno immediatamente segnalati al responsabile del laboratorio. Egli provvederà a ritirare gli strumenti difettosi, ne effettuerà una verifica e li invierà, se necessario, alla manutenzione. Il laboratorio deve essere attrezzato per eseguire piccole riparazioni. Per interventi più impegnativi si appoggerà al fornitore dello strumento o a ditte specializzate.

E' importante evitare che strumenti difettosi o con comportamento anomalo restino disponibili per la normale attività del laboratorio. Essi causano inutili perdite di tempo e danno allo studente un'immagine di disorganizzazione che lo distrae dagli obiettivi che l'attività di laboratorio si propone.

Manutenzione significa anche periodico rinnovo della strumentazione obsoleta e continuo incremento della dotazione di apparecchiature. Un laboratorio che intenda fornire un servizio didattico utile non può evitare di fare ogni anno una spesa, anche modesta, per nuovi investimenti.

È anche importante che gli allievi siano addestrati ai principi fondamentali del processo di conferma metrologica periodica degli strumenti impiegati; ne consegue che ogni strumento sarà dotato di una targhetta indicante la scadenza di validità della sua taratura e che nessuno strumento con taratura scaduta sarà messo a disposizione degli studenti. La taratura potrà essere effettuata dal responsabile del laboratorio per confronto con strumenti campione e annotata sulla scheda dello strumento, con il giudizio di idoneità all'uso. Questo processo di gestione in qualità della strumentazione, anche se svolto senza tutte le precauzioni da osservare in una azienda, deve essere noto agli studenti nelle sue linee essenziali e può essere schematizzato in uno dei cartelli del laboratorio.

## 4. CONCLUSIONI DELLA PARTE I

Il panorama di problemi fin qui esposto ha inteso fornire anche una chiave di lettura per la seconda parte di questo articolo, quando cioè verrà illustrata e discussa una esperienza concreta.

Preme sottolineare ancora una volta, al termine di questa analisi, l'importanza di una meditata e corretta programmazione, che ha come punto centrale la scelta di esperimenti che, da un lato, soddisfino le esigenze didattiche volte a fornire agli studenti alcune conoscenze e

dall'altro risultino sufficientemente motivati e collegati a una realtà accessibile agli allievi. La libertà di scelta del docente è comunque assicurata: in generale essa può spaziare fra molte soluzioni fra loro diverse proprio nella scelta delle motivazioni da dare a un esperimento. Questa scelta può essere migliorata negli anni successivi, utilizzando correttamente i commenti e i suggerimenti che gli studenti, se opportunamente sollecitati, sono pronti ad offrire.

## PARTE II - UN ESEMPIO REALIZZATO

**INTRODUZIONE.** In questa seconda parte si vuole presentare l'esperienza personale dei due autori nel laboratorio di Misure Elettriche presso la Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino. Il laboratorio di Misure Elettriche, in passato afferente all'Istituto di Elettrotecnica Generale, in seguito al Dipartimento di Automatica e Informatica del Politecnico di Torino, fa oggi capo al Dipartimento di Elettronica, sempre del Politecnico di Torino. Lo scopo di questa presentazione è di fornire un esempio concreto di quanto è stato illustrato in modo generale nella parte prima; a tal fine si cercherà di fare stretto riferimento al modo in cui è stato articolato l'argomento nella prima parte, con l'inconveniente di apparire forse troppo schematici, ma con il vantaggio di accentuare il carattere esplicativo dell'esempio. Inoltre, sempre nella linea dello scopo che si vuole perseguire, si riferirà in modo globale e sintetico, senza distinzioni, non solo dell'esperienza maturata come docenti, ma anche di quella vissuta con minori responsabilità decisionali nella veste di assistenti del medesimo docente, il prof. Renzo Marenese, del quale peraltro sono sempre stati collaboratori attivi, condividendone nella sostanza le scelte, e al quale entrambi gli scriventi devono - e gliene sono grati - le basi della loro formazione.

### 1. LA SITUAZIONE

In questo paragrafo si farà riferimento, per illustrare la situazione nella quale ci si è trovati a operare, a quelle che nella prima parte sono state definite "variabili".

#### *1.1. La realtà preesistente (variabili strutturali)*

1. Come si è detto nella premessa, il laboratorio didattico in questione è collegato al corso di Misure Elettriche presso la Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino.

2. E' disponibile un ampio locale, di circa 180 m<sup>2</sup>, adeguatamente illuminato, ma in pratica poco o niente attrezzato per quanto riguarda banchi e alimentazioni.

Anche la strumentazione è molto esigua, in quanto fino a questo momento (1978) il laboratorio è stato utilizzato per scopi essenzialmente dimostrativi (esibizione di strumenti, esecuzione di esperienze da parte del docente, con gli allievi in veste di spettatori), secondo una scelta che nel paragrafo 1 della parte 1 è stata definita "laboratorio del tipo C1". Per quel che riguarda gli altri punti, si può dire che finora al laboratorio è stata assegnata una funzione del tipo A2 (stretta dipendenza dal corso) e un obiettivo del tipo R1 (formazione metodologica).

3. La scuola è inserita in un contesto cittadino e regionale molto industrializzato; per conseguenza sono prevedibili sbocchi lavorativi sia nel campo dell'insegnamento e della libera professione, sia nel settore industriale, con possibilità di impiego anche in settori non strettamente coincidenti con la propria specializzazione. Un elemento peculiare di cui si deve tener conto, e che allarga ulteriormente il campo dei possibili sbocchi lavorativi, è costituito dalla massiccia presenza di studenti provenienti dal meridione, molti dei quali ritorneranno nella regione di provenienza dopo la laurea.

4. Il numero degli allievi afferenti al laboratorio ogni anno è abbastanza variabile; si è andati da oltre 250 a poco più di un centinaio, in concomitanza con particolari avvenimenti legati a modifiche nell'assetto didattico della Facoltà; ora si può prevedere una stabilizzazione intorno ai 150 allievi. Per quanto riguarda il numero di studenti che accedono al laboratorio contemporaneamente, esso non costituisce un dato rigido, potendo contare sulla quasi completa disponibilità del laboratorio tutti i giorni della settimana e su una certa elasticità negli orari.

5. Oltre ai due autori, titolari dei due corsi paralleli ai quali afferiscono gli studenti dei quali si è detto, il laboratorio può disporre dell'apporto quasi pieno di un tecnico esecutivo e di quello

parziale di un tecnico coadiutore (perito elettronico). Inoltre, per l'assistenza didattica i docenti possono contare sulla collaborazione, per qualche ora alla settimana, di alcuni laureati "esterni", cioè provenienti o da Enti di ricerca o da Istituti Tecnici Industriali.

6. Poiché per molto tempo, data la struttura fin qui attribuita al laboratorio, le spese sostenute sono state irrilevanti, l'Istituto di Elettrotecnica Generale, al quale il laboratorio afferisce, è disposto a concedere i fondi necessari a una completa ristrutturazione e a garantire per il futuro i finanziamenti necessari a un graduale sviluppo e alle spese di manutenzione.

### ***1.2. La situazione didattica (variabili didattiche)***

Gli allievi afferenti al laboratorio sono del 3°, 4° e 5° anno del corso di laurea in Ingegneria Elettronica e hanno dietro alle spalle, come minimo, lo studio di materie come Fisica I e Fisica II, Fisica Tecnica, Elettrotecnica. Da queste materie (e, ovviamente, dalle Matematiche) gli allievi hanno acquisito il bagaglio culturale-teorico che consente loro di affrontare lo studio di Misure Elettriche. Da nessuna di queste materie, invece, tranne, ma in maniera molto ridotta, i corsi di Fisica (I e II), hanno ricevuto un significativo avviamento alle attività sperimentali.

Inoltre la provenienza dalle scuole secondarie superiori è molto eterogenea (Liceo Classico e Liceo Scientifico, Istituti Tecnici di vario tipo). In conclusione, non si può far conto che l'allievo medio sappia come impostare la scelta di una misurazione, una volta fissata la finalità, né con quali criteri scegliere gli strumenti, né come condurre la misurazione per trarne il massimo dell'informazione, né come elaborarne successivamente i risultati analizzando le varie cause di incertezza, né che conosca l'uso dei principali, elementari strumenti di misura (amperometri, voltmetri, ecc.).

È poi opportuno sottolineare che, dopo il corso di Misure Elettriche, gli allievi seguiranno un corso di Misure Elettroniche, volto essenzialmente all'insegnamento del funzionamento e dell'uso dei principali strumenti di misura elettronici.

Occorre infine precisare che, accanto alla sostanziale preparazione alle attività sperimentali di cui si è detto, gli studenti sono molto desiderosi di colmare la lacuna relativa alla pratica sperimentale e vedono con molto interesse la possibilità di *mettere finalmente le mani su qualche strumento*. Tale disponibilità, se ben utilizzata, consente di sperare di ottenere una buona collaborazione e, in definitiva, buoni risultati.

2. La possibilità di effettuare collegamenti interdisciplinari rilevanti (ad esempio sviluppando temi afferenti anche ad altri corsi in modo che l'apprendimento e, successivamente, la sua verifica, cioè l'esame, possano essere condotti insieme, senza distinguere fra i corsi interessati) è praticamente inesistente, per ragioni che sarebbe lungo tentare di analizzare. Altrettanto evanescente è la possibilità di collegamenti con problematiche esterne alla scuola.

3. Dato l'argomento del corso, è praticamente lasciato all'arbitrio dei docenti se impostare il corso stesso in modo che l'attività di laboratorio ne sia un'appendice quasi irrilevante oppure, al contrario, se darle un peso che si può corrispondentemente riflettere sulle modalità di valutazione dell'apprendimento.

### ***1.3. I docenti (variabili personali)***

1. La preparazione dei docenti in questione ha le sue radici sia in un'attività didattica svolta come assistenti, sia in una attività di ricerca di tipo essenzialmente sperimentale, svolta in settori che possono essere di regola considerati afferenti alle misure elettriche (entrambi i docenti hanno la Libera Docenza in Misure Elettriche).

2. Riguardo alla consulenza di esperti, vivendo i due docenti uno nell'ambito del Politecnico di Torino e l'altro in un Istituto del Consiglio Nazionale delle Ricerche sono in condizione di poter avere consulenze di colleghi su quasi tutti i problemi che possono esulare dalla loro competenza (illuminotecnica, impiantistica, ecc.).

3. I due docenti sono inoltre concordi nel definire le caratteristiche che ritengono primarie perché

un esperimento di laboratorio possa definirsi adeguato, in senso lato, ai fini didattici:

- Anzitutto l'esperimento deve essere motivato, cioè deve risultare ben chiaro il fine per cui l'esperimento è eseguito e a quali decisioni esso deve condurre.
- I componenti usati, strumenti e accessori, devono essere noti adeguatamente; in molti casi può essere sufficiente conoscere le funzioni esterne, ad esempio considerando uno strumento come una scatola sigillata che fornisce all'esterno una serie di informazioni dalle quali deve essere possibile dedurre informazioni quantitative sulla grandezza che esso misura.
- Sostanziale risulta l'ottenimento, dall'esperimento, di risultati quantitativi e la valutazione della affidabilità che a essi può essere attribuita (stima dell'incertezza).

## **2. LE SCELTE FONDAMENTALI (Le risposte alle tre domande preliminari)**

### ***A - La funzione***

La scelta fatta è di organizzare un laboratorio che conserva autonomia di argomenti e obiettivi, pur essendo corollario al corso (funzione A3).

### ***B - Gli obiettivi***

Sugli obiettivi ci si ricollega al passato, puntando essenzialmente sulla formazione metodologica, anziché su quella professionale; si tende cioè a fornire agli allievi le basi della metodologia sperimentale e della metrologia elettrica, in modo che siano in grado di impostare correttamente una misurazione e di conoscere i principali metodi di misura nel campo delle grandezze di tipo elettrico. La scelta è giustificata, fra l'altro, dalla presenza, a cui si è già accennato nel punto 1) del paragrafo 1.2, del successivo corso di Misure Elettroniche.

In sintesi, con riferimento alla tabella presentata nella Parte I, si scelgono l'obiettivo primario B1 e i tre obiettivi secondari ad esso collegati.

### ***C - Il tipo***

Facendo riferimento ai vari tipi prospettati nel paragrafo 1 della Parte I, la scelta cade sostanzialmente sul tipo C2, prevedendo però qualche correttivo che si ispira al tipo C3.

Più precisamente, si ritiene necessario, in un certo senso inevitabile, che la maggioranza degli esperimenti siano svolti dagli allievi dopo una preparazione specifica strettamente curata e particolareggiata. In tal modo, infatti, si riesce a ottenere una velocità di apprendimento non troppo bassa, compatibilmente con l'assistenza che si è in grado di fornire. Però, poiché si ritiene che sia didatticamente molto efficace lasciare agli studenti la massima autonomia, guidandoli alla scoperta personale con un paziente lavoro di maieutica, non si rinuncia del tutto a questa forma didattica, che d'altronde richiede un notevole impegno, qualitativo e quantitativo, da parte dei docenti, e si programmano uno o due esperimenti del tipo C3, cioè del tipo autonomo.

## **3. L'ORGANIZZAZIONE**

### ***3.1. Le strutture.***

1. **Il locale.** Il locale ha superficie e possibilità di attrezzature, insieme ad altri particolari che saranno descritti nei punti seguenti, idonei a consentire il conseguimento delle funzioni e degli obiettivi prima indicati.
2. **I servizi.** Il locale è stato suddiviso in due parti mediante alcuni degli armadi che

contengono gli strumenti e gli accessori dei quali è dotato il laboratorio: una parte è destinata a ospitare gli allievi; l'altra, corredata di banco di lavoro e relativa attrezzatura, è adibita ad ospitare il tecnico addetto al laboratorio e in essa sono custoditi gli schedari, preparate le esperienze, effettuate riparazioni, ecc.

3. **L'illuminazione.** Si apportano alcune modifiche all'impianto preesistente per soddisfare ai requisiti a cui si è accennato nel par. 3.1.3 della Parte I.
4. **Le alimentazioni.** Secondo i criteri presentati nel par. 3.1.4 della Parte I, il quadro generale di distribuzione dell'energia elettrica, disposto a una estremità del locale, contiene i comandi e le protezioni delle linee di ciascun tavolo. La distribuzione è effettuata mediante blindosbarra che corre lungo il perimetro del locale e cavi di discesa adeguatamente protetti.

Si sono previste le seguenti alimentazioni:

- alternata trifase 220 V, da cui sono ricavabili le alternate monofase 220 V e 125 V;
- alternata monofase 5 V;
- continua 140 V, ottenuta con raddrizzamento mediante un ponte esafase;
- numerose batterie di accumulatori al piombo, almeno una per banco, da 12 V, ciascuna con capacità dell'ordine di 50 Ah;
- batterie di accumulatori al piombo, almeno una per banco, da 2 V, con capacità dell'ordine di 5 Ah;
- una sorgente di bassa tensione e frequenza variabile, fornita da un generatore inseribile di volta in volta e distribuita con una linea non schermata.

5. **I banchi da lavoro.** Secondo le indicazioni del par. 3.1.5 della Parte I, i banchi sono disposti lungo il perimetro del locale. Le alimentazioni giungono a ciascun banco attraverso il cavo proveniente dalla blindosbarra di cui si è detto nel punto precedente. Su ogni banco è predisposta una morsettiera, con precise indicazioni sul tipo di alimentazione prelevabile, e ogni alimentazione è inseribile mediante un interruttore in serie al corrispondente interruttore situato sul quadro generale. Le dimensioni del locale consentono di attrezzare fino a 10 banchi, 5 per ciascun lato del laboratorio. Nella realtà ne sono stati attrezzati 10, utilizzati 8 e 2 sono sempre stati tenuti efficienti come banchi di riserva.

6. **I sussidi audiovisivi.** Sono stati acquistati o preparati tabelloni vari relativi alle norme di sicurezza, alle norme d'uso delle alimentazioni, alle unità di misura del Sistema Internazionale, alle caratteristiche costruttive dei principali tipi di strumenti di misura.

Ricorrendo a vecchi strumenti guasti e non riparabili, sono state preparate alcune vetrine dove questi strumenti appaiono smontati nelle loro parti essenziali.

Infine, appoggiandosi a un altro Istituto della Facoltà già dotato delle attrezzature necessarie, si sono predisposte registrazioni televisive su nastro magnetico aventi come argomento l'illustrazione di alcune esperienze tipiche fondamentali.

### **3.2. La sicurezza**

Sono state messe in atto le indicazioni illustrate nel par. 3.2 della Parte I. In particolare si è provveduto a realizzare un pavimento isolante, a dotare ogni tavolo di un interruttore differenziale sull'alimentazione a 50 Hz, a prevedere la possibilità di inserire una resistenza di 10 k $\Omega$  in serie all'alimentazione in corrente continua da 140 V, per realizzare un'adeguata protezione quando viene impiegata per le misure di isolamento (dove la presenza della resistenza non impedisce lo svolgimento della prova).

Gli allievi inoltre ricevono all'inizio dell'anno una serie di istruzioni particolareggiate, riportate anche sui cartelli affissi alle pareti del laboratorio, sulle norme di comportamento e sugli interventi d'emergenza in caso di folgorazione.

### **3.3. La didattica**

Le scelte di fondo si ispirano ai concetti presentati nel par. 3.3 della Parte I, che non vengono quindi ripetuti. Non ci si dilungherà neppure nell'elencazione delle esperienze scelte (che peraltro sono andate modificandosi nel corso degli anni), che sono una conseguenza dei gusti e della cultura personali, ma sono comunque fortemente condizionate dalle decisioni fondamentali prese a monte (si veda il capitolo 2). Saranno invece illustrati con una certa diffusione i momenti principali in cui si articola la didattica, tenendo anche conto delle lezioni, per mettere in evidenza come avviene l'integrazione fra la parte teorica e la parte sperimentale del corso.

Infine, per comprendere i tempi e i ritmi presentati, è opportuno precisare ancora che nella Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino l'insegnamento viene impartito suddividendo l'anno accademico in due periodi didattici e ogni corso è svolto all'interno di uno dei due periodi, per un numero consecutivo di settimane pari a circa 15.

Il corso si articola in tre momenti distinti:

- le lezioni (4 ore/settimana);
- le esercitazioni teoriche (2 ore/settimana);
- le esercitazioni sperimentali (4 ore/settimana).

**3.3.1. Le lezioni.** Le lezioni sono tenute dai due docenti in due corsi distinti e costituiscono il fondamento teorico di ciascun corso. I due docenti non svolgono esattamente gli stessi argomenti, ciascuno dei due dando ovviamente maggior spazio ai temi nei quali si è più sviluppata la propria esperienza personale. Questa relativa indipendenza è però automaticamente limitata dalla sostanziale concordanza che i due docenti hanno sulle scelte fondamentali di cui si è parlato nel cap. 2 e nel par. 1.3. I docenti svolgono dunque un programma che, in modo parallelo per i due corsi, mette tutti gli allievi in grado di affrontare i problemi che si pongono per lo sviluppo della parte sperimentale, con la stessa gradualità di difficoltà e con gli stessi orientamenti metodologici. Un non trascurabile aiuto a questa omogeneità di formazione viene inoltre dalla scelta dello stesso libro di testo che, pur non costituendo la traccia pedissequa per le lezioni, è una base alla quale si fa ampio riferimento.

**3.3.2. Le esercitazioni teoriche.** L'esercitazione teorica, una per settimana, svolta all'inizio della settimana, prima dell'esercitazione sperimentale, costituisce il momento didattico, fortemente integrato con quello sperimentale, nel quale si soddisfa sostanzialmente a due esigenze:

1. è illustrata l'esperienza che sarà svolta in settimana, mettendo in evidenza tutti i problemi metodologici che essa sottintende;
2. è commentata e discussa l'esperienza svolta nella settimana antecedente.

L'importanza di questa esercitazione deriva dalla sua stessa natura di momento di riflessione, che precede e segue l'effettuazione dell'esperienza, e risulta quindi essenziale per la formazione metodologica degli allievi. Può essere interessante osservare che questa valutazione è condivisa dagli allievi stessi al punto che, pur non essendovi di fatto alcun obbligo di frequenza né, tanto meno, alcun controllo, mentre la frequenza alle lezioni è relativamente scarsa, la frequenza a questa esercitazione è elevatissima; in pratica, tutti gli allievi che svolgono le esercitazioni sperimentali frequentano anche assiduamente queste esercitazioni teoriche.

**3.3.3. Le esercitazioni sperimentali.** Per lo svolgimento delle esercitazioni sperimentali gli allievi sono suddivisi in squadre, ciascuna delle quali è costituita da un massimo di otto gruppi di lavoro. Ogni gruppo è formato da quattro (eccezionalmente cinque) allievi e si costituisce all'inizio dell'anno (nel nostro caso gli allievi sono lasciati del tutto autonomi nel decidere la composizione dei gruppi), ricevendo in dotazione un corredo minimo di strumenti e utensili che vengono custoditi in un apposito cassetto del quale il gruppo custodisce la chiave. Ogni gruppo svolge tutte le sue esperienze a un determinato tavolo, sempre lo stesso, e si presenta come una unità nella quale i singoli membri risultano il più possibile integrati in tutte le fasi dello

svolgimento dell'esperienza, dalla sua organizzazione all'esecuzione, all'analisi dei risultati, alla stesura della relazione. A questa integrazione viene attribuita molta importanza e gli allievi vengono fin dall'inizio dell'anno invitati a sviluppare una collaborazione anche sul piano dello studio e della preparazione al di fuori della scuola, in previsione anche di un esame sostenuto in modo collegiale, come sarà meglio precisato nel seguito.

Le esperienze svolte sono, com'è già stato accennato nel par. 2, di due tipi sostanzialmente diversi, che per comodità saranno chiamati *esperienze programmate* ed *esperienze a tema*.

1. **Le esperienze programmate** sono quelle che più naturalmente si inseriscono in un laboratorio del tipo che nel par. 1 della Parte I è stato definito C2. Sono cioè esercitazioni accuratamente programmate sia sotto l'aspetto della loro presentazione e illustrazione preventiva (che vengono effettuate, come si è detto, nel corso dell'esercitazione teorica), sia sotto l'aspetto dell'apprestamento, sul tavolo da lavoro, di tutto il materiale necessario (strumenti, alimentazioni e accessori vari). Nel corso dell'esperienza ogni gruppo è seguito assiduamente (mediamente ogni assistente segue due o tre gruppi), con lo scopo di evitare incidenti e intoppi e, soprattutto, di mettere in evidenza e far cogliere gli aspetti più formativi dell'esperienza. Le esperienze che si svolgono contemporaneamente nei diversi tavoli sono tutte dello stesso tipo. Per alcune di queste esperienze, come si è già detto al punto 6) del par. 3.1, sono stati registrati dei nastri magnetici, della durata di 35-40 minuti ciascuno, con la presentazione dell'esperienza (una specie di condensato dell'esercitazione teorica), che sono proiettati immediatamente prima dell'esecuzione dell'esperimento, allo scopo di rinfrescare i concetti fondamentali. Si noti che non si ammette che gli allievi giungano in laboratorio per effettuare l'esercitazione sperimentale senza esservi preparati; pur senza prendere in alcun modo le presenze all'esercitazione teorica, si presuppone che tutti vi abbiano partecipato e non è previsto che l'assistenza all'esercitazione sperimentale serva anche per illustrare ex novo l'esperienza.
2. **Le esperienze a tema** sono quelle che sarebbero previste in un laboratorio del tipo che nel par. 1 della Parte I è stato definito C3. Questo tipo di esperienze sembra essere il più efficace sotto l'aspetto didattico, ma non è assumibile in modo completo, perché richiederebbe tempo e assistenza in quantità non accessibili nelle nostre scuole.

Ne sono programmate due: una a metà corso e una alla fine del corso. Entrambe si rivolgono con le stesse modalità. A ogni gruppo è assegnato un tema nel quale è precisato solamente l'oggetto dell'esperienza - e a volte anche, intenzionalmente, in modo incompleto. Il gruppo deve quindi impostare il tutto, dal precisare lo scopo della misurazione al metodo di misura (correlato all'oggetto della misurazione e alle esigenze di precisione) agli strumenti e accessori necessari, alle alimentazioni, all'organizzazione dell'esperimento (con la suddivisione dei compiti all'interno del gruppo), al rilievo dei dati, alla stesura della relazione. Va da sé che gli allievi non sono lasciati soli, ma sono seguiti passo passo, con un paziente (e non facile) lavoro di correzione e di stimolo, che raggiunge il massimo dell'efficacia quando gli allievi riescono a scoprire da soli sia i problemi sia le soluzioni, attraverso un processo dialettico che si realizza verso l'esterno (i docenti), ma anche all'interno (nel dibattito fra i componenti del gruppo).

Ad esempio, il tema proposto può essere il seguente: "Determinare la resistenza interna dello strumento che trovate sul tavolo". Lo strumento è un amperometro per corrente continua e alternata (per esempio elettromagnetico) con portata 2 A e classe 1.

Gli studenti dovranno innanzitutto chiedersi perchè può essere necessario conoscere la resistenza interna dell'amperometro. Riconosceranno che questa informazione è necessaria per il calcolo del consumo dello strumento durante l'impiego e, ricordando che il consumo rappresenta una correzione da apportare alle misure fatte con altri strumenti, concluderanno che è sufficiente conoscere tale resistenza con una incertezza dell'ordine del 10%. Un metodo di misura voltamperometrico sarà adatto allo scopo: lo stesso strumento in esame misurerà la corrente che lo attraversa (con il vantaggio di misurare il valore della resistenza cercata in

condizioni identiche a quelle di impiego), mentre la tensione ai suoi capi potrà essere misurata con il tester in dotazione. Un'attenzione particolare dovrà essere posta nell'inserire il voltmetro nel circuito di misura, per evitare di misurare altre resistenze in serie a quella richiesta. Eseguita l'esperienza, si calcolerà l'incertezza da associare al risultato confrontandola con il 10% circa richiesto in fase di programmazione.

Molti quesiti aggiuntivi possono essere posti agli studenti: la misura dovrà esser fatta con corrente continua o alternata? Se lo strumento deve funzionare in corrente alternata, è sufficiente la conoscenza della resistenza interna per il calcolo del consumo?

**3.3.4. La verifica dell'apprendimento.** La verifica dell'apprendimento e la conseguente valutazione del singolo allievo, costituiscono da sempre uno dei momenti didattici più critici e dibattuti, a causa del contrasto esistente fra esigenze aventi ciascuna la propria validità e a causa delle solite inevitabili carenze di tempo e di personale. Gli autori non intendono qui aprire questo complesso discorso, né - tanto meno - fornire risposte conclusive su un tema che comunque andrebbe affrontato con ben altro respiro; d'altro canto sono consci di alcuni importanti limiti insiti nelle soluzioni adottate, che vengono considerate perciò, più ancora di altri argomenti, provvisorie e "in corso di sperimentazione" (forse questo non è più attuale).

È comunque opportuno precisare che tra gli obiettivi della verifica un particolare rilievo è stato attribuito ai seguenti:

1. togliere all'esame il suo contenuto di traumaticità, il quale si traduce molto spesso in un notevole pregiudizio sulla correttezza della valutazione;
2. togliere all'esame il suo contenuto di aleatorietà, legato in modo intrinseco alla limitatezza del tempo a disposizione;
3. aumentare il più possibile la capacità dell'esame di essere anche un momento di apprendimento, riducendone il più possibile il pericolo di diventare un momento puramente ripetitivo.

Si è dunque deciso di articolare la valutazione dei singoli allievi attraverso due momenti, sostanzialmente coincidenti con le due esercitazioni a terna svolte a metà e a fine corso, dando un peso maggiore alla seconda, mentre nella prima ci si limita a iniziare una conoscenza di massima dei singoli gruppi, cogliendone le caratteristiche fondamentali e il livello di integrazione dei singoli componenti. È anche importante sottolineare una difficoltà intrinseca in questo metodo di valutazione, che richiede un'attenzione particolare, per evitare gravi errori di sopravvalutazione; si tratta del pericolo di non cogliere forti differenze, fra i componenti del gruppo, mascherate magari sotto un'apparente timidezza o taciturnità. Nel corso delle due esercitazioni occorrerà dunque - e non è sempre facile - riuscire a stimolare tutti i componenti del gruppo per cogliere le reazioni anche dei più "chiusi", al limite ricorrendo anche ad un vero e proprio "interrogatorio?" colloquio individuale.

In alcune occasioni è stato sperimentato il ricorso anche a una componente dell'esame basata su un testo scritto, con domande sia a risposta libera sia con risposta da scegliere tra diverse alternative. Si è ricorsi a tale soluzione nei casi di corsi con un numero di allievi molto elevato (150 o più). Le domande riguardarono sempre le esercitazioni di laboratorio effettuate e i loro collegamenti con il corso teorico. L'esperimento è stato abbandonato quando il numero degli allievi è sceso a valori sostenibili con il numero di personale di supporto disponibile.

### **3.4. Le attrezzature**

Si deve innanzitutto distinguere fra l'attrezzatura da mettere a disposizione di ogni gruppo all'inizio del corso e quella relativa a ogni esperienza, variabile di volta in volta.

1. **L'attrezzatura del gruppo** consiste in quel minimo di utensili, strumenti e accessori che possono essere necessari nel corso di qualunque esperimento. Nel caso in oggetto si è

pensato di dotare ogni gruppo di multimetro di bassa classe, di un cacciavite, di un paio di forbici da elettricista e di un paio di pinze, tutti con l'impugnatura rivestita di materiale isolante. Sono anche stati forniti un discreto numero di terminali *a bocca di cocodrillo* e di capicorda per innesto con *banane*. Ogni tavolo è poi stato fornito di numerosi cavetti di diverse lunghezze e con diversi tipi di terminali. Il materiale è custodito da ciascun gruppo in uno dei cassetti di una cassettera, della quale il gruppo ha in custodia la chiave. Questa soluzione si è rivelata come la più idonea a responsabilizzare gli allievi nei confronti della conservazione del materiale a loro affidato, mentre è risultata assolutamente negativa la soluzione di attrezzare il tavolo da lavoro, sul quale si avvicinano numerosi gruppi.

**2. L'attrezzatura relativa agli esperimenti** è funzionale, non solamente agli esperimenti scelti, ma anche al tipo di laboratorio che si intende realizzare. In particolare, poiché nel corso di ogni esercitazione del tipo programmato i gruppi eseguono tutti lo stesso esperimento, è indispensabile disporre di una molteplicità di apparecchiature, tutte per la stessa funzione; nel caso in oggetto la strumentazione disponibile consente di attrezzare da otto a dieci tavoli con lo stesso esperimento. In realtà non è opportuno acquistare strumenti uguali, ma conviene, salva la necessità di svolgere determinate funzioni, presentare agli allievi una gamma di soluzioni diverse, anche solo sotto l'aspetto commerciale. La classe degli strumenti deve essere scelta in modo da soddisfare le esigenze di precisione intrinseche alla misurazione, in quanto non è didatticamente efficace far accettare all'allievo soluzioni non corrette, con la motivazione, che pure ha la sua validità, che si tratta di un esperimento di tipo scolastico.

Per le esercitazioni a tema si può far ricorso alle stesse apparecchiature impiegate per le altre esercitazioni, anche se è opportuno disporre di strumentazione adatta anche a misurazioni che esulano dal campo di quelle programmate. Infine è opportuno sottolineare che, dato il tipo di obiettivi che il laboratorio si propone, sarà opportuno dare la preferenza ad apparecchiature montate dagli stessi studenti, usufruendo di apparecchi più semplici, anziché ricorrere ad apparecchiature complesse, delle quali non sono in generale facilmente comprensibili i principi di funzionamento. Ad esempio, se in una esperienza è necessario l'uso di un ponte di Wheatstone, è preferibile mettere a disposizione degli studenti cassette di resistenze variabili a decadi, un rivelatore di zero, tasti, commutatori e una batteria di alimentazione con i quali realizzare il ponte, piuttosto che un ponte commerciale chiuso in una elegante cassetta. Avendo i componenti individualmente accessibili, gli studenti, da un lato potranno applicare svariati metodi di misura (sostituzione, inversione dei lati di rapporto, inversione dell'alimentazione), valutando vantaggi e svantaggi di ognuno, dall'altro avranno l'occasione di conoscere meglio i componenti più significativi (per esempio le cassette di resistenze) e i problemi che sorgono nella loro interconnessione (per esempio, le resistenze di contatto).

Nel laboratorio che qui descriviamo sono disponibili due insiemi principali di attrezzature di carattere generale: il necessario per compiere esperienze con strumenti indicatori con incertezza compresa tra 1 e 5% (voltmetri, amperometri e wattmetri di diverso tipo, portata e classe, reostati e autotrasformatori variabili, bipoli passivi); il necessario per compiere esperienze in corrente continua con metodi di confronto e incertezza migliore dello 0,1% (cassette di resistenze a decadi, resistenze e pile campione, rivelatori di zero, divisori di tensione).

**3. Tra le esperienze eseguibili** con strumenti indicatori, citiamo alcuni titoli, formulati in modo da far risultare evidente la motivazione proposta agli studenti:

- La già ricordata determinazione dell'efficienza luminosa di una lampadina.
- La determinazione della capacità di un condensatore per il rifasamento di un carico.
- La misura della resistività del materiale impiegato per realizzare la piastra di supporto di un circuito elettronico.
- La taratura di un contatore di energia elettrica con wattmetro e cronometro.

Numerosissime sono le esperienze eseguibili con il secondo insieme di strumenti e tutte

facilmente motivabili con riferimento alla realtà. Se ne citano alcune a puro titolo di esempio:

- Misura della temperatura corporea con un termistore.
- Misura della resistenza interna di un voltmetro per calcolare il valore del resistore addizionale necessario per il raddoppio della portata.
- Taratura di un wattmetro per corrente continua con il riferimento dei campioni di resistenza e tensione.
- Misura della deformazione di una trave con diversi carichi mediante estensimetri elettrici.

4. **Le attrezzature speciali** sono state scelte in modo da consentire l'esecuzione di alcune esperienze che si ritengono particolarmente significative. Ad esempio, sono disponibili generatori di tensione sinusoidale a bassa frequenza, da 0,001 Hz a 10 Hz. Sono usati per la determinazione sperimentale della risposta in frequenza di un trasduttore del secondo ordine. Come trasduttore è stato scelto un galvanometro magnetoelettrico, in modo che l'uscita possa essere ottenuta semplicemente rilevando l'ampiezza dell'escursione della macchia luminosa sulla scala graduata, senza che siano necessari altri strumenti, che distoglierebbero l'attenzione degli studenti dal problema centrale.

L'esperienza è presentata agli studenti in questo modo. Lo specchio sospeso all'equipaggio magnetoelettrico deve essere usato per pilotare il raggio di un laser che dovrà fare delle incisioni su un materiale leggero (carta, stoffa). Il comando per posizionare il raggio è attuato variando la corrente che alimenta lo strumento. Scopo dell'esperienza è determinare la massima frequenza alla quale può essere pilotato lo specchio e ricavare i parametri caratteristici che consentono di prevedere il comportamento del trasduttore a qualunque frequenza. Gli studenti alimentano il trasduttore con corrente di ampiezza costante e di frequenza via via crescente e rivelano, per ciascuna frequenza, l'ampiezza dell'oscillazione di uscita. Dai diagrammi sperimentali ottenuti con due diversi assetti del trasduttore (smorzamento superiore e inferiore a quello critico), che danno l'andamento del segnale d'uscita al variare della frequenza, è possibile ricavare i parametri caratteristici del trasduttore.

Gli studenti nel corso dell'esperienza apprenderanno tutto quanto necessario sulla teoria dei trasduttori e sull'impiego dell'analisi di Fourier. Ma, oltre a ciò, dovranno utilizzare i risultati ottenuti per esprimere un giudizio circa il comportamento del trasduttore in una ben precisa condizione di impiego.

Altre attrezzature speciali, d'uso circoscritto, sono l'apparecchio di Epstein per la determinazione della cifra di perdita di lamierini magnetici (l'esperienza è presentata come esempio di metodo di misurazione normalizzato), sfasatori di tensione per misure di potenza su linee trifasi con tensioni dissimmetriche, oscilloscopi.

### **3.5. Manutenzione**

L'organizzazione attuata rispecchia quanto esposto nel par. 3.5 della parte I. La pratica ha dimostrato la validità delle scelte fatte. In particolare è risultato assai utile poter disporre di un quaderno, sul quale sono registrati per ciascuna esperienza i problemi emersi e le soluzioni adottate per risolverli. Nel giro di pochi anni si è reso disponibile un prontuario con una casistica quasi esaustiva, nel quale sono previsti, giustificati e risolti pressoché tutti gli imprevisti che si sono verificati nel tempo per ciascuna esperienza.

## **4. CONCLUSIONI DELLA PARTE II**

Il modo con cui è stato presentato l'esempio potrebbe indurre a concludere che da scelte di metodo sia derivata immediatamente l'organizzazione del laboratorio capace di soddisfarle. Nella realtà, all'organizzazione qui descritta si è giunti attraverso molti tentativi e correzioni, coadiuvati in modo sostanziale da incontri con gli studenti, a corso ed esami conclusi.

Va inoltre sottolineato che la condizione ottimale di funzionamento si è riusciti a mantenerla in vita per pochi anni. Modifiche sostanziali della situazione, conseguenti al riassetto della docenza universitaria, in particolare con una riduzione a zero del personale tecnico addetto in permanenza al laboratorio e del personale esterno incaricato dell'assistenza alle esperienze, hanno costretto a scelte di compromesso. Il numero delle esperienze che gli studenti compiono ogni anno è stato ridotto drasticamente, con la conseguenza di rendere meno facili e naturali le esperienze a tema, per difetto di capacità manuale e di conoscenza di strumenti e tecniche di base.

Nei pochi anni durante i quali è stato possibile attuare il programma di laboratorio nella sua interezza, si sono ottenuti risultati estremamente incoraggianti. Oltre il 95% degli studenti ha superato l'esame di fine corso alla prima sessione d'esame con risultati medi superiori al passato e al presente. Gli studenti dimostravano un'acquisita autonomia sperimentale, una buona padronanza dei metodi di misura fondamentali e soprattutto buona capacità critica nella progettazione, esecuzione e analisi dell'esperimento.

## **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- International Measurement Confederation (IMEKO). Technical Committee on Higher Education. Symposium on “Teaching Measurement Science Through Laboratory Experiments”, Stockholm, August 29-31, 1977, 300 pagine.
- Carlo Panseri “Il rapporto tecnico”, Etas/Kompass, Milano, 1967, 348 pagine.
- R. Karplus, H.D. Thier “Rinnovamento dell'educazione scientifica elementare”, Zanichelli, Bologna, 1971, 220 pagine.
- R. Ducret, Rofe-uz-Zarnan (Editore) “The University Today: its Role and Place in Society”, UNESCO, Geneve, 1959, 334 pagine.
- V. Mathieu, P. Rossi (Editore) “Scientific Culture in the Contemporary World”, Scientia, Milano, 1979, 420 pagine.

<http://www.personalweb.unito.it/silvana.dalmazzone/report.pdf>

### **La pubblicazione del BIPM**

Il BIPM mette a disposizione sul sito [http://www.bipm.org/fr/si/si\\_brochure/](http://www.bipm.org/fr/si/si_brochure/) gratuitamente un opuscolo di 180 pagine in inglese e francese, periodicamente aggiornato in modo da essere allineato con le delibere della CGPM e del CIPM, dedicato al sistema internazionale di unità SI. Questo quaderno è allineato all'VIII edizione dell'opuscolo. L'opuscolo ha rilevante importanza dal punto di vista legale in quanto riporta i testi delle delibere della CGPM sulle unità di misura, testi che hanno carattere di legge per tutti i paesi che aderiscono al trattato internazionale della Convenzione del Metro.

### **Il corpo di norme ISO/IEC della serie 80 000**

La serie delle norme (guide) internazionali 80 000 ha come titolo generale “**Grandezze e Unità**” e consiste delle seguenti parti:

- Parte 1: Generalità
- Parte 2: Segni matematici e simboli da usare nelle scienze naturali e nella tecnologia
- Parte 3: Spazio e tempo
- Parte 4: Meccanica
- Parte 5: Termodinamica
- Parte 6: Elettromagnetismo
- Parte 7: Luce
- Parte 8: Acustica
- Parte 9: Chimica fisica e fisica molecolare
- Parte 10: Fisica atomica e nucleare
- Parte 11: Numeri caratteristici
- Parte 12: Fisica dello stato solido
- Parte 13: Scienza e tecnologia dell'informazione
- Parte 14: Telebiometria relativa alla fisiologia umana
- Parte 15: Telebiometria relativa alla telesalute e alla telemedicina a livello mondiale

Le parti 6, 13, 14 e 15 sono di responsabilità dell'IEC; tutte le altre fanno capo all'ISO. In Italia UNI e CEI nel settore della metrologia generale operano congiuntamente tramite la Commissione mista UNI/CEI “Metrologia generale”. A tale Commissione spetta la competenza sulla serie 80 000. I due Enti hanno deciso di recepire immediatamente le parti della serie 80 000 in lingua originale (Inglese) non appena approvate a livello internazionale e di procedere rapidamente anche alla loro traduzione in italiano. In Italia le norme della serie 80 000 saranno pubblicate tutte come norme congiunte UNI e CEI, indipendentemente dall'organismo internazionale che ha la responsabilità delle varie parti. Le prime parti della serie già approvate sono disponibili in italiano dal 2008.

Ciascuna parte consiste, mediamente, di circa 40 pagine. A una serie di paragrafi di carattere generale, alcuni dei quali si ripetono identici in tutte le parti mentre altri riguardano osservazioni o definizioni specifiche, seguono tabelle con le grandezze di interesse, i loro simboli e definizioni, le loro unità di misura con simboli e definizioni, note particolari ed eventuali fattori di conversione tra le diverse unità. Seguono appendici in genere riguardanti unità di misura al di fuori del SI, di valore storico o usate in ambiti geografici o disciplinari particolari.

Questo quaderno è allineato con la parte 1; serve pertanto come introduzione al linguaggio della misure del quale fornisce gli elementi essenziali, indipendenti dal settore applicativo. Non entra se non marginalmente nei dettagli delle altre parti e ad esse rimanda per approfondire, settore per settore, la conoscenza del linguaggio delle misure.

### **Il vocabolario internazionale di metrologia**

Il vocabolario, detto comunemente VIM, è stato pubblicato nel 2007 dall'ISO con la terza edizione, profondamente rivista rispetto alla precedente che risaliva al 1993. La nuova edizione è condivisa, oltre che dall'ISO,

da altre 7 organizzazioni internazionali che hanno contribuito alla sua stesura. Si fornisce l'elenco di tali organizzazioni per sottolineare la vastità del consenso oggi attribuito al documento: IEC, la Federazione Internazionale di Chimica Clinica e Medicina di Laboratorio (IFCC), l'Unione Internazionale di Chimica Pura ed Applicata (IUPAC), l'Unione Internazionale di Fisica Pura ed Applicata (IUPAP) la Organizzazione Internazionale di Metrologia Legale (OIML), la Cooperazione Internazionale per l'Accreditamento dei Laboratori (ILAC) e il Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Il documento può essere scaricato gratuitamente dal sito [www.bipm.org](http://www.bipm.org).

UNI e CEI hanno deciso di recepire immediatamente il documento tra le norme italiane, nelle lingue originali (inglese e francese), e di procedere alla sua traduzione in italiano. Tale traduzione conterrà anche un glossario in tre lingue (è aggiunto l'italiano alle due originali) dei lemmi definiti dal vocabolario: tale glossario faciliterà enormemente le aziende nella traduzione dei loro cataloghi dall'italiano all'inglese e al francese. La disponibilità del testo in italiano è prevista tra la fine del 2009 e l'inizio del 2010.

## La guida all'espressione dell'incertezza nelle misurazioni

La guida, nota con la sigla GUM, pubblicata in italiano da UNI e CEI e disponibile gratuitamente in inglese, con i suoi supplementi, sul sito [www.bipm.org](http://www.bipm.org), nota come ISO/IEC Guide 98, è un documento complesso ma fondamentale per chi voglia divenire padrone dei metodi di stima dell'incertezza. Sono disponibili sul web molte versioni semplificate, tra le quali si segnalano quelle rintracciabili sui siti seguenti: [www.accredia.it](http://www.accredia.it) alla voce Press/Documentazione/ Materiali didattici; [www.sit-italia.it](http://www.sit-italia.it) alla voce documenti tecnici; [www.european-accreditation.org/content/publications/pub.htm](http://www.european-accreditation.org/content/publications/pub.htm).

Per comodità dei lettori si propone una breve presentazione della GUM:

Questa presentazione, scritta anche alla luce delle recenti pubblicazioni del *final draft* dell'introduzione alla GUM, prescinde da casi particolari e intende chiarire, senza formule e senza numeri, il processo che sta alla base del calcolo dell'incertezza secondo la GUM.

1. Ricordiamo anzitutto che l'obiettivo di ogni misura è quello di fornire un'informazione quantitativa su una grandezza di interesse che viene chiamata "il misurando". Quindi il primo fondamentale passo è definire il misurando sul quale si vogliono informazioni, la sua unità di misura, le condizioni alla quali si vuole conoscerlo (a quale temperatura? in quale posizione o orientamento? in quale istante? in quale altra condizione di rilievo?).
2. Se la misura viene ripetuta o replicata, è esperienza comune che si ottiene una dispersione dei valori: ciò può accadere sia per imperfezioni nel processo sia perché il misurando, o le sue condizioni, stanno cambiando. L'incertezza (tipo) vuole comunicare, a chi utilizza il risultato, questo grado di imperfetta informazione sul misurando ottenuto, ossia di valutare quantitativamente il grado di fiducia che possiamo attribuire al risultato, dato essenziale al momento in cui, sulla base del risultato e del grado di fiducia a esso attribuito, dobbiamo prendere una decisione o caratterizzare una proprietà del prodotto o del servizio offerto. È un po' come fare una scommessa: diciamo di essere disposti a scommettere che chiunque ripeta la misura del misurando con idonea strumentazione e con adeguata esperienza, otterrà un risultato, con la sua incertezza, che differirà da quello da noi fornito non più di un dato multiplo dell'incertezza (cioè cadrà in un intervallo intorno al nostro risultato di ampiezza complessiva pari al doppio del multiplo dell'incertezza tipo scelto). Per esempio, se il multiplo è il doppio siamo pronti a scommettere 95 volte contro la posta; se è il triplo 99 volte contro la posta.
3. Ottenuto il valore del misurando, con un solo insieme di misure o come media di più misure, e avendolo corretto con tutte le correzioni note, dobbiamo pertanto **associare** a esso una distribuzione di probabilità (la teoria della probabilità è la matematica scelta dalla GUM per trattare l'incertezza) che immaginiamo centrata sul valore ottenuto del misurando e caratterizzata da un solo parametro: lo scarto tipo o la deviazione standard, come dicono gli anglofoni.  
Tale scarto tipo viene dalla GUM assunto come "incertezza tipo" della misura.
4. Come facciamo a ottenere la distribuzione di probabilità da associare al misurando? E' semplice: il valore del misurando è sempre il risultato di un calcolo che parte dai valori di grandezze misurate o note. Il caso più semplice si ha quando il misurando è la somma dell'indicazione fornita dallo strumento (alla quale si associa la stessa unità di misura del misurando) e della correzione di cui si dispone avendo tarato lo strumento (correzione che può anche essere pari a zero). Un caso più complesso è quello dove il misurando è una funzione nota di conteggi, diluizioni, volumi e altro. Ciascuna di queste grandezze è chiamata "grandezza d'ingresso" ed è rappresentata dalla distribuzione di probabilità delle informazioni che la riguardano (suo valore centrale, che è il valore più probabile assunto dalla grandezza, e suo scarto tipo). La distribuzione di probabilità **da associare** al misurando, quella che ci consente di scommettere, è la combinazione delle distribuzioni caratterizzanti le grandezze d'ingresso, fatta secondo le regole della teoria delle probabilità. Nel caso più semplice si ottiene la varianza (quadrato dello scarto tipo) della distribuzione da associare al misurando mediante la media pesata delle varianze delle distribuzioni delle grandezze d'ingresso: questo metodo è del tutto corretto solo quando tutte le distribuzioni sono gaussiane, oppure quando sono distribuzioni regolari (rettangolare, di *Poisson*, ad U) e numerose sono le grandezze d'ingresso. Nel caso più complesso si propagano le distribuzioni, utilizzando ad esempio la tecnica detta di Montecarlo, indispensabile quando il modello della misurazione è fortemente non lineare. Alla fine o si ipotizza di ottenere una distribuzione quasi Gaussiana (ma comunque simmetrica) o, grazie alla tecnica di Montecarlo, si conosce la distribuzione e tutti i suoi parametri. Solo a queste condizioni è conveniente impegnarsi nella scommessa.

5. Le distribuzioni delle grandezze d'ingresso sono di due tipi. Quelle di categoria A sono distribuzioni sperimentali, derivanti da opportune ripetizioni delle misure di quella grandezza d'ingresso; si calcolano dunque medie, si valutano eventuali dati anomali (*outliers*), si fanno correzioni che tengano conto del ridotto numero di misure eseguite (ricorrendo alla distribuzione *t* di *Student*), si stima lo scarto tipo. Quelle di categoria B si riferiscono a grandezze di ingresso che conosciamo non per via sperimentale ma da fonti varie come manuali, risultati ottenuti da altri, esperienza dal lavoro, dati da cataloghi, altro ancora. Per esse dobbiamo dunque **ipotizzare** sia la forma della distribuzione sia il valore da attribuire allo scarto tipo che le caratterizza.
6. Il legame tra misurando e grandezze d'ingresso dalle quali esso dipende è chiamato modello della misura. Esso serve a due scopi: calcolare il misurando a partire dai valori noti delle grandezze d'ingresso; effettuare la stima dell'incertezza perchè grazie al modello possiamo sia calcolare i pesi da attribuire alle varianze per la loro combinazione sia applicare la tecnica di Montecarlo. Da notare che supporre pari a zero una grandezza d'ingresso al momento del calcolo del misurando non significa affermare anche che la sua incertezza sia nulla; l'ipotesi di valore zero ha una sua incertezza, tal quale come l'ipotesi di un qualunque altro valore.
7. E' tutto. Gli altri sono dettagli che spesso si possono facilmente risolvere ricorrendo a un foglio elettronico di calcolo.

***APPENDICI (con scopo puramente di brevi promemoria; assolutamente non vanno intese come sostitutive delle leggi o delle norme delle quali costituiscono stralci)***

**Stralci dal decreto legge 626/1994, citati senza pretesa di essere esaustivi ma a puro scopo di promemoria sull'importanza della conoscenza e applicazione dettagliata dei dispositivi di legge e delle norme sulla sicurezza.**

**ART. 2 - Definizioni (parziale)**

1. Agli effetti delle disposizioni di cui al presente decreto si intendono per:

a) lavoratore: persona che presta il proprio lavoro alle dipendenze di un datore di lavoro, esclusi gli addetti ai servizi domestici e familiari, con rapporto di lavoro subordinato anche speciale. Sono equiparati i soci lavoratori di cooperative o di società, anche di fatto, e gli utenti dei servizi di orientamento o di formazione scolastica, universitaria e professionale avviati presso datori di lavoro per agevolare o per perfezionare le loro scelte professionali. **Sono altresì equiparati gli allievi degli istituti di istruzione ed universitari, e i partecipanti a corsi di formazione professionale nei quali si faccia uso di laboratori, macchine, apparecchi ed attrezzature di lavoro in genere, agenti chimici, fisici e biologici;**

b) datore di lavoro: qualsiasi persona fisica o giuridica o soggetto pubblico che è titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore e abbia la responsabilità dell'impresa ovvero dello stabilimento; (prosegue)

**ART. 3 - Misure generali di tutela (completo)**

1. Le misure generali per la protezione della salute e per la sicurezza dei lavoratori sono:

a) valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza;

**b) eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, loro riduzione al minimo;**

c) riduzione dei rischi alla fonte;

**d) programmazione della prevenzione mirando ad un complesso che integra in modo coerente nella prevenzione le condizioni tecniche produttive ed organizzative dell'azienda nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente di lavoro;**

**e) sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso;**

f) rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, anche per attenuare il lavoro monotono e quello ripetitivo;

g) priorità delle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale;

h) limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono, o che possono essere, esposti al rischio;

i) utilizzo limitato degli agenti chimici, fisici e biologici, sui luoghi di lavoro;

l) controllo sanitario dei lavoratori in funzione dei rischi specifici;

m) allontanamento del lavoratore dall'esposizione a rischio, per motivi sanitari inerenti alla sua persona;

n) misure igieniche;

**o) misure di protezione collettiva ed individuale;**

**p) misure di emergenza da attuare in caso di pronto soccorso, di lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori e di pericolo grave ed immediato;**

**q) uso di segnali di avvertimento e di sicurezza;**

r) regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, macchine ed impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità alla indicazione dei fabbricanti;

s) informazione, formazione, consultazione e partecipazione dei lavoratori ovvero dei loro rappresentanti, sulle questioni riguardanti la sicurezza e la salute sul luogo di lavoro;

**t) istruzioni adeguate ai lavoratori.**

**Note sui locali contenenti accumulatori**

I locali contenenti accumulatori, i quali, in relazione alla loro cubatura ed alla capacità e tipo delle batterie in essi esistenti, possono presentare pericoli di esplosione delle miscele gassose, devono:

1. essere ben ventilati;

2. non contenere macchine di alcun genere né apparecchi elettrici o termici;

3. essere illuminati secondo le disposizioni dell'articolo 332;

4. tenere esposto, sulla porta di ingresso, un avviso richiamante il divieto di fumare e di introdurre lampade od altri oggetti a fiamma libera.

**Dalla Normativa sulle tubazioni e la loro identificazione**

**Le tubazioni possono essere identificate in due diversi modi:**

- mediante colori distintivi di base, per impianti dove è sufficiente individuare semplicemente la natura base del fluido;
- mediante colori distintivi di base e indicazioni di codice, per impianti dove è di grande importanza la precisa individuazione del fluido.

Per ciascun colore viene fornita la definizione fisica (qui non riportata), effettuata secondo il sistema adottato dalla

Commissione Internazionale di Illuminazione CIP, nel 1931.

**Le indicazioni di codice si distinguono in:**

- **Colori di sicurezza:**
- rosso, per estinzione incendi;
- giallo con bande nere oblique, per pericolo;
- azzurro, con colore di base verde, per acqua dolce.
- **Dati indicanti la natura del fluido:**
- nome per esteso;
- abbreviazione;
- formula chimica.

È lasciata facoltà all'utente di apporre il colore distintivo di base o su tutta la tubazione o a bande.

Il colore distintivo di base e le indicazioni di codice eventuali devono essere posti in modo particolare in vicinanza delle valvole, dei raccordi, degli incroci, dei giunti, delle paratie, delle apparecchiature di servizio, degli attraversamenti dei muri e in ogni altra posizione dove possa essere necessario.

Quando è necessario conoscere il senso di flusso del fluido, questo deve essere indicato con una freccia situata in prossimità del colore distintivo di base e verniciata di bianco o di nero in modo da contrastare con il colore di base.

## TABELLE

**Le Tabelle** seguenti possono servire come spunti per la preparazione di tabelloni illustrativi del Sistema Internazionale di Grandezze (ISQ) e del Sistema Internazionale di Unità (SI). I dati sono allineati con la citata pubblicazione del BIPM e con le citate Norme ISO/IEC serie 80 000, all'anno 2009.

### Tabella 1

Grandezze dell'ISQ e unità del SI di base

| Grandezza di base         |                         |                          | Unità SI di base |         |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|---------|
| Nome                      | Simbolo della grandezza | Simbolo della dimensione | Nome             | Simbolo |
| lunghezza                 | $l, x, r, \dots$        | <b>L</b>                 | metro            | m       |
| massa                     | $m$                     | <b>M</b>                 | kilogrammo       | kg      |
| tempo                     | $t$                     | <b>T</b>                 | secondo          | s       |
| corrente elettrica        | $I, i$                  | <b>I</b>                 | ampere           | A       |
| temperatura termodinamica | $T$                     | <b>Θ</b>                 | kelvin           | K       |
| quantità di sostanza      | $n$                     | <b>N</b>                 | mole             | mol     |
| intensità luminosa        | $I_v$                   | <b>J</b>                 | candela          | cd      |

**Si ricorda che, in questa tabella e in tutte le successive, i simboli delle grandezze sono simboli raccomandati, ossia altri possono essere utilizzati in luogo di quelli indicati. Per le unità di misura i simboli, i nomi e l'ortografia di essi sono invece obbligatorie: devono essere usati tali e quali come riportato in questo documento e nei documenti citati al paragrafo 2.**

#### Nota bene:

Alcune unità SI di base sono unità di misura di grandezze con la stessa dimensione delle grandezze di base, come evidenziato negli esempi seguenti.

Esempi di unità di base del SI di grandezze non di base dell'ISQ

| Grandezza                                                                    | Unità SI |         |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|
|                                                                              | Nome     | Simbolo |
| lunghezza d'onda, distanza                                                   | metro    | m       |
| durata, periodo                                                              | secondo  | s       |
| tensione magnetica, differenza di potenziale magnetico, forza magnetomotrice | ampere   | A       |
| grado di avanzamento di una reazione                                         | mole     | mol     |

## Tabella 2

Esempi di unità SI coerenti espresse a partire dalle unità di base. In colonna P. è indicata la parte della serie di norme EN ISO IEC 80 000 (vedi Appendice 1) nella quali si trova la grandezza considerata.

| Grandezza derivata |                                                            |          | Unità SI derivata coerente                                    |                                        |
|--------------------|------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| P.                 | Nome                                                       | Simbolo  | Nome                                                          | Simbolo                                |
| 3                  | area                                                       | $A$      | metro quadrato                                                | $m^2$                                  |
| 3                  | volume                                                     | $V$      | metro cubo                                                    | $m^3$                                  |
| 3                  | velocità                                                   | $v$      | metro al secondo                                              | $m/s$                                  |
| 3                  | accelerazione                                              | $a$      | metro al secondo quadrato                                     | $m/s^2$                                |
| 4                  | densità, massa volumica                                    | $\rho$   | kilogrammo al metro cubo                                      | $kg/m^3$                               |
| 4                  | densità areica (superficiale)                              | $\rho_A$ | kilogrammo al metro quadro                                    | $kg/m^2$                               |
| 4                  | densità relativa                                           | $d$      | (il numero) uno                                               | 1                                      |
| 4                  | volume specifico                                           | $v$      | metro cubo al kilogrammo                                      | $m^3/kg$                               |
| 4                  | portata in massa                                           | $q_m$    | kilogrammo al secondo                                         | $kg/s$                                 |
| 5                  | coefficiente di isolamento termico                         | $M$      | metriquadri per kelvin per watt                               | $m^4 \cdot K \cdot kg \cdot s^{-3}$    |
| 5                  | capacità termica                                           | $C$      | joule al kelvin                                               | $J/K$                                  |
| 5                  | entropia specifica                                         | $s$      | joule al kelvin e al kilogrammo                               | $J/(kg \cdot K)$                       |
| 6                  | densità di corrente (elettrica)                            | $J$      | ampere al metro quadro                                        | $A/m^2$                                |
| 6                  | (intensità di) campo magnetico                             | $H$      | ampere al metro                                               | $A/m$                                  |
| 6                  | costante magnetica, permeabilità del vuoto                 | $\mu_0$  | henry al metro                                                | $m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$ |
| 6                  | permeabilità relativa                                      | $\mu_r$  | (il numero) uno                                               | 1                                      |
| 7                  | luminanza                                                  | $L_v$    | candela al metro quadro                                       | $cd/m^2$                               |
| 7                  | indice di rifrazione                                       | $n$      | (il numero) uno                                               | 1                                      |
| 7                  | numero d'onda, coefficiente di attenuazione lineare totale | $\sigma$ | metro alla meno uno                                           | $m^{-1}$                               |
| 7                  | radianza di particelle                                     | $L$      | numero di particelle al metro quadro al secondo a steradiante | $1/(m^2 \cdot s \cdot sr)$             |
| 8                  | flusso di velocità acustica, velocità volumica del suono   | $q$      | metricubi al secondo                                          | $m^3/s$                                |

## Segue Tabella 2

|    |                                                                               |                  |                                      |                                |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 8  | impedenza acustica                                                            | $Z_a$            | pascal per secondo al metrocubo      | $\text{kg/m}^4 \cdot \text{s}$ |
| 9  | massa molare                                                                  | $M$              | kilogrammo alla mole                 | $\text{kg/mol}$                |
| 9  | molalità del soluto, forza ionica                                             | $I$              | mole al kilogrammo                   | $\text{mol/kg}$                |
| 9  | volume molare                                                                 | $V_m$            | metro cubo alla mole                 | $\text{m}^3/\text{mol}$        |
| 9  | concentrazione (di quantità di sostanza del costituente B)                    | $c_B$            | mole al metro cubo                   | $\text{mol/m}^3$               |
| 10 | fluenza di particelle                                                         | $\Phi$           | numero di particelle al metro quadro | $1/\text{m}^2$                 |
| 10 | costante di decadimento                                                       | $\lambda$        | secondo alla meno uno                | $1/\text{s}$                   |
| 10 | coefficiente di assorbimento (attenuazione, trasferimento) di energia massico | $\mu_m$          | metro quadrato al kilogrammo         | $\text{m}^2/\text{kg}$         |
| 12 | densità di elettroni in banda di conduzione                                   | $n$              | metri alla meno 3                    | $1/\text{m}^3$                 |
| 13 | velocità di trasferimento di digit binari                                     | $r_{\text{bit}}$ | bit al secondo                       | $1/\text{s}$                   |
| 14 | funzione di somma temporale dell'occhio umano                                 | -                | 1 al secondo e allo steradiante      | $1/\text{s} \cdot \text{sr}$   |

### Tabella 3

#### Unità SI derivate aventi un nome speciale

Ad alcune unità del SI sono state assegnate dalla CGPM nomi speciali. Le ragioni di questa scelta sono sostanzialmente due.

◊ Si è voluto ricordare personalità della storia della scienza che hanno contribuito in modo particolare allo sviluppo della scienza delle misure; ben presto la CGPM decise di porre termine a questa usanza a causa delle discussioni accanite sui nomi da adottare, per le pressioni provenienti dalle nazioni che ebbero l'onore di avere scienziati insigniti come propri cittadini.

◊ Alle unità SI nel settore delle radiazioni ionizzanti sono stati assegnati i nomi speciali becquerel, gray e sievert (tabella 4), specificatamente introdotti per ridurre il rischio di errori, e conseguenti danni alla salute umana, derivanti da incomprensioni nell'uso delle unità secondo alla meno uno e joule al kilogrammo.

| Grandezza derivata                                                                      | Unità SI derivata         |                   |                                       |                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                                                         | Nome                      | Simbolo           | Espressa in termini di altre unità SI | Espressa in termini delle unità SI di base |
| angolo piano                                                                            | radiante <sup>(a)</sup>   | rad               |                                       | $m \cdot m^{-1} = 1^{(b)}$                 |
| angolo solido                                                                           | steradiano <sup>(a)</sup> | sr <sup>(c)</sup> |                                       | $m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$               |
| frequenza                                                                               | hertz                     | Hz                |                                       | $s^{-1}$                                   |
| forza                                                                                   | newton                    | N                 |                                       | $m \cdot kg \cdot s^{-2}$                  |
| pressione, sforzo, sollecitazione, pressione acustica o sonora                          | pascal                    | Pa                | $N/m^2$                               | $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$             |
| energia, lavoro, quantità di calore, energia raggiante, valore energetico (di alimenti) | joule                     | J                 | $N \cdot m$                           | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$                |
| potenza, flusso di energia, flusso energetico                                           | watt                      | W                 | $J/s$                                 | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$                |
| carica elettrica, quantità di elettricità, flusso elettrico, flusso dielettrico         | coulomb                   | C                 |                                       | $s \cdot A$                                |
| tensione elettrica, differenza di potenziale elettrico, forza elettromotrice            | volt                      | V                 | $W/A$                                 | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$   |
| capacità (elettrica)                                                                    | farad                     | F                 | $C/V$                                 | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$ |
| resistenza (elettrica)                                                                  | ohm                       | $\Omega$          | $V/A$                                 | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$   |
| conduttanza (elettrica)                                                                 | siemens                   | S                 | $A/V$                                 | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$ |
| flusso magnetico, flusso di induzione magnetica                                         | weber                     | Wb                | $V \cdot s$                           | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$   |

### Segue Tabella 3

|                                                                                                                           |                              |     |                      |                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----|----------------------|-------------------------------------------------------------|
| induzione magnetica, densità di flusso magnetico                                                                          | tesla                        | T   | Wb/m <sup>2</sup>    | kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>                         |
| induttanza, auto induttanza, coefficiente di auto induzione, mutua induttanza, coefficiente di mutua induzione, permeanza | henry                        | H   | Wb/A                 | m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-2</sup>         |
| temperatura Celsius                                                                                                       | grado Celsius <sup>(d)</sup> | °C  |                      | K                                                           |
| attività catalitica                                                                                                       | katal                        | Kat |                      | mol/s                                                       |
| flusso luminoso                                                                                                           | lumen                        | lm  | cd·sr <sup>(c)</sup> | m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> ·cd=cd                      |
| illuminamento                                                                                                             | lux                          | lx  | lm/m <sup>2</sup>    | m <sup>2</sup> ·m <sup>-4</sup> ·cd=<br>m <sup>-2</sup> ·cd |
| attività (di una certa quantità di nuclidi radioattivo)                                                                   | becquerel                    | Bq  |                      | s <sup>-1</sup>                                             |
| dose assorbita, energia specifica (impartita), kerma                                                                      | gray                         | Gy  | J/kg                 | m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>                             |
| equivalente di dose (ambientale, direzionale, personale)                                                                  | sievert                      | Sv  | J/kg                 | m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>                             |
| Attività catalitica                                                                                                       | katal                        | kat |                      | s <sup>-1</sup> ·mol                                        |

**Note:**

- (a) Il radiante e lo steradiano possono essere vantaggiosamente utilizzati nelle espressioni di unità derivate per distinguere tra grandezze di natura differente ma con la stessa dimensione. Nella tabella 5 sono forniti alcuni esempi del loro uso nel formare unità derivate.
- (b) Nella pratica in simboli rad e sr sono usati quando è opportuno, ma l'unità derivata "1" è generalmente omessa quando è in combinazione con valori numerici.
- (c) In fotometria il nome steradiano e il simbolo sr sono normalmente mantenuti nell'espressione delle unità.
- (d) Questa unità può essere usata in combinazione con prefissi SI, esempio: milligrado Celsius, simbolo m°C (nessuno spazio tra i simboli delle due unità).

**Nota importante sull'unità di temperatura:**

Le unità di misura accettate sulla scala di internazionale di temperatura sono:

- il kelvin (simbolo K)
- il grado Celsius (simbolo °C).

Le due unità sono dimensionalmente uguali. Una temperatura può pertanto essere espressa sia in kelvin sia in gradi Celsius. La relazione tra temperatura in kelvin (simbolo usuale della grandezza  $T$ ) e temperatura in gradi Celsius (simbolo usuale della grandezza  $t$ ) è la seguente:

$$t = T - 273,15$$

**Nota bene:** l'unità di temperatura si chiama kelvin (iniziale minuscola), **non grado kelvin**. Il suo simbolo è K (maiuscolo), **non** °K.

**Nota bene:** l'unità grado centigrado appartiene alla storia, non alle unità del SI. Il simbolo °C si riferisce al grado Celsius.

**Tabella 4**

Corrispondenza tra nome dell'unità SI designato per le unità di misura nel settore delle radiazioni ionizzanti e nome dell'unità SI, da non utilizzare per esse, desunto dalla derivazione dalle unità di base e da altre unità con nome speciale.

| Grandezza           | Unità SI designata | Unità SI non utilizzata |
|---------------------|--------------------|-------------------------|
| attività            | becquerel          | secondo alla meno uno   |
| dose assorbita      | gray               | joule al kilogrammo     |
| equivalente di dose | sievert            | joule al kilogrammo     |

**Tabella 5**

La sintassi per l'uso delle unità con nome e simbolo speciale nella generazione del nome e del simbolo di altre unità SI derivate coerenti.

| Grandezza derivata                                            | Unità SI derivata               |                    |                                                       |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                               | Nome                            | Simbolo            | Espressa in termini delle unità SI di base            |
| viscosità dinamica                                            | pascal per secondo              | Pa·s               | $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$                        |
| momento di una forza                                          | newton per metro                | N·m                | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$                           |
| tensione superficiale                                         | newton al metro                 | N/m <sup>2</sup>   | $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$                        |
| velocità angolare                                             | radiante al secondo             | rad/s              | $m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$                |
| accelerazione angolare                                        | radiante al secondo quadrato    | rad/s <sup>2</sup> | $m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$                |
| densità di flusso di calore, irradianza                       | watt al metro quadro            | W/m <sup>2</sup>   | $kg \cdot s^{-3}$                                     |
| coefficiente di temperatura della resistività di un materiale | kelvin alla meno uno            | K <sup>-1</sup>    | K <sup>-1</sup>                                       |
|                                                               | grado Celsius alla meno uno     | °C <sup>-1</sup>   |                                                       |
| coefficiente di dilatazione termica di un materiale           | kelvin alla meno uno            | K <sup>-1</sup>    | K <sup>-1</sup>                                       |
|                                                               | grado Celsius alla meno uno     | °C <sup>-1</sup>   |                                                       |
| potere termoelettrico (tra due conduttori)                    | volt al kelvin                  | V/K                | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1} \cdot K^{-1}$ |
| capacità termica, entropia                                    | joule al kelvin                 | J/K                | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$              |
| capacità termica specifica, entropia specifica                | joule al kilogrammo e al kelvin | J/(kg·K)           | $m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$                       |
| energia specifica                                             | joule al kilogrammo             | J/kg               | $m^2 \cdot s^{-2}$                                    |

## Segue Tabella 5

|                                                                                                                   |                                         |                        |                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| conducibilità termica                                                                                             | watt al metro e al kelvin               | W/(m·K)                | $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$                                   |
| fluenza di energia                                                                                                | joule al metro quadro                   | J/m <sup>2</sup>       | $kg \cdot s^{-2}$                                                        |
| rateo di fluenza di energia, densità di flusso di energia                                                         | watt al metro quadro                    | W/m <sup>2</sup>       | $kg \cdot s^{-3}$                                                        |
| densità di energia                                                                                                | joule al metro cubo                     | J/m <sup>3</sup>       | $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$                                           |
| campo magnetico, forza magnetica                                                                                  | ampere al metro                         | A/m                    | $m^{-1} \cdot A$                                                         |
| densità di corrente elettrica                                                                                     | ampere al metro quadro                  | A/m <sup>2</sup>       | $m^{-2} \cdot A$                                                         |
| (intensità di) campo elettrico, forza elettrica                                                                   | volt al metro                           | V/m                    | $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$                                   |
| densità di carica elettrica                                                                                       | coulomb al metro cubo                   | C/m <sup>3</sup>       | $m^{-3} \cdot s \cdot A$                                                 |
| densità di flusso elettrico (o dielettrico), induzione elettrica, spostamento elettrico. polarizzazione elettrica | coulomb al metro quadro                 | C/m <sup>2</sup>       | $m^{-2} \cdot s \cdot A$                                                 |
| resistività elettrica                                                                                             | ohm per metro                           | $\Omega \cdot m$       | $m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$                                 |
| conduttività elettrica                                                                                            | siemens al metro                        | S/m                    | $m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$                               |
| permettività, costante dielettrica                                                                                | farad al metro                          | F/m                    | $m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$                               |
| riluttanza                                                                                                        | henry alla meno uno                     | 1/H                    | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^2 \cdot A^2$                               |
| permeabilità                                                                                                      | henry al metro                          | H/m                    | $m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$                                   |
| potere frenante lineare totale                                                                                    | joule al metro                          | J/m                    | $m \cdot kg \cdot s^{-2}$                                                |
| energia (interna) molare, entalpia molare                                                                         | joule alla mole                         | J/mol                  | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$                               |
| entropia molare, calore specifico molare, capacità termica molare                                                 | joule alla mole e al kelvin             | J/(mol·K)              | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$                  |
| conduttività molare di uno ione                                                                                   | siemens per metro quadro alla mole      | S·m <sup>2</sup> /mol  |                                                                          |
| esposizione (a raggi X e $\gamma$ )                                                                               | coulomb al kilogrammo                   | C/kg                   | $kg^{-1} \cdot s \cdot A$                                                |
| rateo di esposizione                                                                                              | coulomb al kilogrammo al secondo        | C/(kg·s)               | $kg^{-1} \cdot A$                                                        |
| rateo di dose assorbita, rateo di kerma                                                                           | gray al secondo                         | Gy/s                   | $m^2 \cdot s^{-3}$                                                       |
| intensità energetica                                                                                              | watt allo steradiante                   | W/sr                   | $m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$<br>$=m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$ |
| radianza (totale)                                                                                                 | watt al metro quadro e allo steradiante | W/(m <sup>2</sup> ·sr) | $m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$<br>$=kg \cdot s^{-3}$           |

## Segue Tabella 5

|                    |                                       |                        |                                                                                             |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| radianza spettrale | watt al metro cubo e allo steradiante | W/(m <sup>3</sup> ·sr) | m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> ·kg·s <sup>-3</sup><br>=m <sup>-1</sup> ·kg·s <sup>-3</sup> |
| luminanza          | candela al metro quadro               | cd/m <sup>2</sup>      | m <sup>-2</sup> ·cd                                                                         |

### CONSIDERAZIONI IMPORTANTI:

Una singola unità SI può corrispondere a numerose diverse grandezze, come è stato fatto notare nelle tabelle precedenti. Peraltro tali tabelle non sono esaustive.

Per quanto detto alla nota precedente, risulta importante non usare la sola unità per specificare la grandezza. Ad esempio, dire joule al kelvin (J/K) non consente di distinguere se si sta parlando di capacità termica o di entropia; dire ampere (A) non consente di distinguere se si sta parlando di corrente elettrica o di forza magnetomotrice.

La regola impone dunque di precisare, nel contesto, sia la grandezza sia l'unità di misura ad essa corrispondente. Questa regola si applica non solo nei testi tecnici e scientifici ma anche, per esempio e soprattutto, negli strumenti di misura: sul loro display (e sul catalogo) deve essere indicata sia la grandezza che lo strumento misura sia l'unità di misura (o un suo multiplo o sottomultiplo) adottata.

Una unità derivata può essere espressa in modi diversi, combinando tra loro i nomi delle unità di base con nomi speciali di unità derivate. Trattasi di una libertà di espressione algebrica che peraltro deve essere governata da considerazioni fisiche e di buon senso. Il joule, per esempio, può formalmente essere scritto "newton per metro" o "kilogrammo per metro quadro al secondo quadro"; ma, in un dato contesto, una di tali forme può essere più chiara e utile di una sua alternativa. Si raccomanda comunque di usare sempre, in un dato contesto, la stessa espressione dell'unità derivata quando è collegata alla stessa grandezza. Un cambiamento di espressione dell'unità è giustificato quando si intende sottolineare un cambiamento di grandezza collegata.

Nella pratica, con certe grandezze si preferisce usare certi nomi speciali di unità, o combinazioni di nomi di unità, per facilitare la distinzione tra grandezze diverse che hanno la stessa dimensione.

## Tabella 6

Scelta preferita del nome dell'unità, con ricorso o meno anomi speciali, per meglio consentire l'identificazione della grandezza alla quale ci si intende riferire

| Grandezza                                           | Unità SI designata    | Unità SI non utilizzata |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| frequenza                                           | hertz                 | secondo alla meno uno   |
| velocità angolare                                   | radiante al secondo   | secondo alla meno uno   |
| flusso di particelle                                | secondo alla meno uno | hertz                   |
| quantità di calore, valore energetico (di alimenti) | joule                 | newton per metro        |
| momento di una forza                                | newton per metro      | joule                   |

## Tabella 7

Unità per grandezze adimensionali, grandezze di dimensione uno

Alcune grandezze sono definite come rapporto tra due grandezze della stessa specie e, di conseguenza, hanno una dimensione che può essere espressa per mezzo del numero uno. L'unità di tali grandezze è necessariamente una unità derivata, coerente con le altre unità del SI; poiché è formata dal rapporto di due unità SI fra loro identiche, anche l'unità può essere espressa mediante il numero uno. Pertanto l'unità SI di tutte le grandezze che hanno prodotto dimensionale uno è il numero uno. Esempi di tali grandezze sono:

- indice di rifrazione
- permeabilità relativa
- coefficiente di attrito
- rendimento
- numero di Reynolds

In generale l'unità 1 non è esplicitamente mostrata.

In alcuni casi, peraltro, a questa unità uno è attribuito un nome speciale, principalmente per evitare confusioni tra unità derivate composte. E' il caso ben noto di radiante e steradiante.

## Tabella 8

Unità al di fuori del SI ma accettate definitivamente e usabili congiuntamente con le unità SI

Alcune unità non SI hanno grande diffusione nella scienza, nella tecnica e nel commercio. Alcune sono usate nella vita quotidiana e sono talmente radicate nella storia e nella cultura della razza umana da essere di fatto non sostituibili con quelle SI.

Nella tabella sono elencate le unità non SI per le quali esiste un accordo internazionale di riconoscimento e che si possono usare anche in combinazione con unità SI. Trattasi delle unità delle grandezze di tempo e di angolo, oltre ad altre unità usate a livello mondiale, che differiscono dalle unità SI coerenti per un fattore moltiplicativo pari a una potenza intera di 10. Per completezza nella tabella sono state aggiunte anche le unità neper e bel delle grandezze livello, decremento e attenuazione.

### Unità non SI usabili anche in combinazione con unità SI

| Grandezza                                                                      | Unità      |         |                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|-----------------------------------------------------------|
|                                                                                | Nome       | Simbolo | Valore in unità SI                                        |
| durata, tempo di calendario                                                    | minuto     | min     | 1 min = 60 s                                              |
|                                                                                | ora        | h       | 1 h = 60 min = 3600 s                                     |
|                                                                                | giorno     | d       | 1 d = 24 h = 86 400 s                                     |
| angolo piano                                                                   | grado      | °       | 1° =<br>( $\pi/180$ ) rad                                 |
|                                                                                | minuto     | '       | 1' = (1/60)°<br>= ( $\pi/10\,800$ ) rad                   |
|                                                                                | secondo    | "       | 1" = (1/60)'<br>= ( $\pi/648\,000$ ) rad                  |
| superficie                                                                     | ettaro     | ha      | 1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> |
| volume (di liquidi o gas)                                                      | litro      | l, L    | 1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> |
| massa                                                                          | tonnellata | t       | 1 t = 10 <sup>3</sup> kg                                  |
| livello (di campo, di potenza, di pressione sonora),<br>decremento logaritmico | neper      | Np      | 1 Np = 1                                                  |
|                                                                                | bel        | B       | 1 B = (1/2) ln 10 (Np)                                    |

➤ La parte 3 delle norme della serie ISO/IEC 80 000 raccomanda di usare i sottomultipli decimali dell'unità grado (per la grandezza angolo piano), in luogo del primo e del secondo (paragrafo 3.5b e 3.5c).

➤ In astronomia i piccoli angoli sono misurati in secondi d'arco (cioè in secondi d'angolo piano, simbolo " "); usati sono i sottomultipli decimali millisecondi d'arco (simbolo mas), microsecondi d'arco (simbolo  $\mu$ as), picosecondi d'arco (simbolo pas).

➤ L'unità ettaro è usata per esprimere superfici agrarie.

➤ Per l'unità litro sono ammessi due simboli, l (elle minuscolo) e L, in quanto il primo può confondersi con il carattere tipografico usato per il numero uno.

➤ Nei paesi di lingua inglese la tonnellata è chiamata "metric ton", tonnellata metrica.