

A black and white portrait of Anthos Bray, an older man with short, wavy hair, wearing a suit jacket, white shirt, and patterned tie. He is looking directly at the camera with a serious expression. The background is blurred.

**Politecnico di Torino  
Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica**

**Anthos Bray**

**una vita per la ricerca**

*Questa antologia dei lavori del prof. Anthos Bray viene pubblicata grazie al contributo del **DISPEA – Politecnico di Torino** e dell' **INRIM** in occasione della giornata di commemorazione, il 18 ottobre 2007, ad un anno dalla scomparsa.*

*L' antologia è stata curata da un gruppo di allievi e collaboratori : Giulio Barbato, Anita Calcatelli, Carlo Ferrero, Alessandro Germak, Raffaello Levi, Gianfranco Molinar, Margherita Plassa, Sergio Rossetto, Attilio Sacconi, Vittorio Vicentini.*

## Indice

L'attività scientifica del prof. Anthos Bray (R.Levi)  
.....

Sez. I – I lavori iniziali: misure dinamiche e rilievi su motori a combustione interna	.....13
<i>Errori di misura della pressione variabile (1956 b)</i>	14
<i>Misure estensimetriche di deformazioni dinamiche su una bocca da fuoco (1956 a)</i>	44
Sez. II – Estensimetri elettrici a resistenza, applicazione di estensimetri e rosette nell'analisi di deformazioni piane e tridimensionali (V. Vicentini)	55
<i>Il rilassamento degli estensimetri elettrici a resistenza (1960 b)</i>	57
<i>The recovery of resistance strain gages(1961, a)</i>	65
<i>Gli estensimetri annegati: nuovo metodo per l'analisi tridimensionale delle tensioni (1970,c)</i>	73
<i>Three dimensional strain rosettes: pattern selection and performance evaluation1975,b)</i>	80
<i>Testimonianze sull'introduzione e sulle prime applicazioni degli estensimetri elettrici a resistenza in Italia (1988,g)</i>	87
Sez. III – Proprietà fisiche degli strati metallici sottili depositati sotto vuoto (A. Calcatelli, M. Plassa)	101
<i>The Strain Sensitivity of Alloy Films prepared by Vacuum Depositino (1960, b)</i>	104
<i>Sulla sensibilità alle deformazioni di strati sottili di Ni-Cr evaporato sotto vuoto (1963,c)</i>	112
<i>The Strain Sensitivity of Ge and Cr-Si Thin Films Deposited under Vacuum (1964,b)</i>	124
<i>Vacuum deposited films at high temperature (1966, f)</i>	134
<i>La sensibilità alla deformazione degli strati sottili depositati sotto vuoto (1967,a9</i>	139
<i>Strain sensitivity of vacuum deposited films 81970,h)</i>	150
Sez. IV – Meccanica sperimentale, analisi delle sollecitazioni e proprietà meccaniche dei materiali(V. Vicentini)	155
.....	
<i>La taratura degli estensimetri (1958, d)</i>	157
<i>The Role of Stress Analysis in the Design of Force-standard Transducers (1980, f)</i>	163
<i>Esperienze sul fenomeno di isteresi meccanica del rame (1959, a)</i>	183
<i>Il carico di snervamento degli acciai dolci (1967, b)</i>	189
<i>A computerized method for the evaluation of the Bauschinger Effect – Application to different types of steels (1980, e)</i>	205
<i>Wire Drawing Process Modellization: Main Results and Implications 81996, b)</i>	211

<i>Static and dynamic strain analysis of a typewriter driving ratchet (1966, c)</i>	225
<i>Il comportamento elastico dei subbi in lega leggera per l'avvolgimento dei filati(1968,c)</i>	237
<i>Factors Affecting the Tightening Characteristics of Bolt 81965, a)</i>	247
<b>Sez. V – Metrologia delle forze, sviluppo di campioni primari e secondari e misura dell'accelerazione di gravità (C. Ferrero)</b>	<b>259</b>
The Influence of Contact Stresses on the Characterization of a Load Cell (1972, c)	262
An investigation on parasitic effect on force standard machines	272
The Accuracy of Force Standards and Measurements of Gravity Acceleration (1980,c)	282
An analysis of the effect of strain gages positioning in a square-ring load cell (1984, a)	296
The worldwide network of force standards(1988, c)	302
Methods for the design of flattened-ring dynamometers (1988, d)	310
Field calibration method for multicomponent robotic force/moment transducers (1992, a)	317
Gravity correction: an Italian preliminary proposal (1994)	323
The new 1 MN dead-weight force standard machine: description of the installation procedure followed at the Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" (1995, a)	333
<b>Sez. VI – Metrologia generale. (g. Molinar Min Beciet)</b>	<b>339</b>
The resonance technique for measuring the camping coefficientin welded bodies (1973, a)	341
La metrologia meccanica e termica e l'industria (1970, a)	349
Nuovi metodi e tendenze di ricerca nella disseminazione dei campioni delle unità di misura (1980, d)	358
Attività nazionali nel settore della metrologia (1968, d)	364
Gli enti metrologici ed i campioni nazionali (1974, f)	371
Aggiornamento sul Sistema Internazionale di unità di misura (19699)	377
<b>Sez VII Pubblicazioni</b>	
Elenco cronologico delle pubblicazioni di A. Bray (1950 – 1998)	389
Frontespizio dei quattro libri a stampa	397

(la varie sezioni dell'antologia sono precedute da brevi presentazioni, qui di seguito riportate, da parte di ricercatori che hanno svolto la loro attività in stretta collaborazione con il prof. Anthos Bray nel campo cui la sezione fa riferimento.

Anthos Bray – una vita per la ricerca

### **L'attività scientifica del prof. Anthos Bray**

Nato a Lecce nel 1924, Anthos Bray si laureò col massimo punteggio e lode in Ingegneria industriale meccanica all'Università di Napoli nel 1948, dove svolse inizialmente attività di ricerca presso l'Istituto di Meccanica Applicata sotto la guida dei Proff. Ferretti e Taddei come assistente volontario, e presso l'Istituto dei Motori del CNR come ricercatore volontario. Dopo un periodo di apprendistato a Parigi presso la Société Chausson con borsa ATA, tornò a lavorare come assistente incaricato presso l'Istituto di Meccanica Applicata, e l'Istituto dei Motori. Grazie ad una borsa di studio della Società Meridionale di Elettricità, proseguì gli studi superiori nell'ambito delle misure negli Stati Uniti presso il Massachusetts Institute of Technology, dove lavorò come assistente ricercatore e, sotto la guida del Prof. Lyon, conseguì brillantemente nel 1953 il titolo di Master of Science. Rientrato a Napoli, venne assunto in qualità di ricercatore l'Istituto dei Motori, dedicandosi in particolare alle misure dinamiche.

Venne chiamato a Torino poco dopo dal Prof. Gustavo Colonnetti, che in qualità Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche si impegnava a fondo per far rinascere la ricerca in un paese che si risollevava a fatica dalle rovine della seconda guerra mondiale. Aveva cercato in tutta Italia l'elemento capace di animare e far crescere il nucleo iniziale dell'Istituto Dinamometrico Italiano, che era appena riuscito a fondare superando avversità e difficoltà d'ogni genere; in Anthos trovò la persona giusta.

Pioniere dell'estensimetria elettrica in Italia, metrologo ben presto di fama internazionale, ricercatore raffinato ed organizzatore instancabile, si affermò in breve tempo come direttore dell'I.D.I. Nel giro di qualche anno riuscì a riunirlo all'ex Istituto Termometrico, ed a completarlo con le nuove sezioni (Lunghezze, Masse), per fondare l'Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti"; lo dirigerà per un quarto di secolo. Fiore all'occhiello del CNR, l'IMGC venne presto accolto a pieno titolo, sotto la sua direzione, nella cerchia degli Istituti metrologici più affermati a livello mondiale, quali il National Bureau of Standards (ora National Institute for Science and Technology), il National Physical Laboratory, il Physikalisch-Technische Bundesanstalt, il Bureau National de Métrologie, con cui strinse rapporti di fattiva collaborazione.

Eletto membro di prestigiose organizzazioni scientifiche internazionali, il Prof. Bray vi rappresentò a lungo l'Italia, in particolare nella capitale mondiale della metrologia, il Bureau International des Poids et Mesures di Sèvres. Socio fondatore dell'Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni, ne fu eletto Presidente, e Socio Onorario a riconoscimento dei suoi importanti contributi. Paul Harris Fellow e Socio Onorario del Rotary Club Torino Nord, tra i numerosi riconoscimenti ricevuti ebbe particolarmente grata la Murray Lecture, con cui volle onorarlo – primo in Italia - la Society for Experimental Stress Analysis (ora Society for Experimental Mechanics), in occasione del convegno internazionale di Boston nel 1980.

Impiegò con successo la posizione di rilievo rivestita in ambito metrologico per sviluppare numerose iniziative per una sempre più ampia collaborazione internazionale, in particolare in ambito IMEKO. Favorì così la formazione di reti di istituti e laboratori primari collegati da rapporti di efficace cooperazione nell'interesse generale, superando barriere di tipo politico e burocratico grazie a relazioni interpersonali coltivate con lungimiranza e sensibilità.

Oltre centocinquanta memorie presentate in prestigiose sedi nazionali ed internazionali, monografie, libri e trattati tuttora di riferimento in materia testimoniano l'intensa e fruttuosa attività di ricerca scientifica. I principali filoni coltivati si possono raggruppare in alcuni settori, di cui il primo in ordine cronologico riguarda soprattutto le misure di grandezze rapidamente variabili nel tempo, quali vibrazioni, pressioni e deformazioni nelle bocche da fuoco all'atto dello sparo, e rilievi al banco su motori a combustione interna, in particolare in regime di incipiente detonazione.

Tra gli argomenti principali spicca quello riguardante gli estensimetri elettrici a resistenza, per cui il Prof. Bray figura a buon diritto tra i pionieri in Italia ed in Europa non solo per i metodi e le applicazioni di estensimetri e rosette nell'analisi degli stati di deformazione piani e tridimensionali, statici e dinamici, ma anche per ricerche di base, e per lo sviluppo di sensori innovativi di deformazione, e di trasduttori con elevate caratteristiche metrologiche.

Le proprietà fisiche degli strati metallici sottili depositati sotto vuoto sono tuttora oggetto di ricerche di grande attualità; averne affrontato rigorosamente lo studio sul piano sperimentale quasi mezzo secolo fa, per risolvere un problema di grande interesse pratico nell'ambito dell'ingegneria nucleare, significa aver anticipato di molto i tempi, intuendo l'importanza del tema anche al di là delle applicazioni in estensimetria.

Dall'analisi delle sollecitazioni in senso stretto si passa alla meccanica sperimentale, intesa come metodo generale per affrontare, con gli strumenti d'indagine più raffinati, l'analisi sperimentale di complessi problemi applicativi, in particolare anche in ambito tecnologico. La presenza di elevate dispersioni (tipiche in presenza di attrito, e temperature elevate), di numerosi fattori in gioco, e spesso di dinamiche complesse, viene affrontata unendo a tecniche sperimentali evolute metodi statistici avanzati, non di rado anticipandone l'uso in tali campi.

Assieme alla ricerca di base, promosse attivamente la ricerca applicata in ambito industriale, volta a sfruttare i mezzi d'indagine più sofisticati per dare soluzione concreta a problemi applicativi, ed a portare a conoscenza di ingegneri e tecnici nell'industria le grandi potenzialità offerte da strumentazione e tecniche di ricerca d'avanguardia. Dal settore meccanico a quello tessile, ed alla ricerca nucleare, numerosi lavori testimoniano l'importanza di un intenso impegno di ricerca ed al tempo stesso di divulgazione.

La metrologia delle forze copre sia lo sviluppo di campioni di primari di forza - macchine a pesi diretti, e sistemi di moltiplicazione per le portate più elevate - sia quello di campioni secondari trasportabili, costituiti da dinamometri dotati di caratteristiche particolari; ed ancora la dinamometria a più componenti, per risolvere importanti problemi applicativi, tra cui quello del controllo di componenti parassite nei campioni primari. All'argomento è strettamente legato quello della misura dell'accelerazione di gravità, sia in vista del perfezionamento dei campioni di forza, sia agli effetti della metrologia legale, per i sistemi commerciali di pesatura.

L'importanza di un adeguato supporto metrologico per il miglioramento della qualità nell'industria, dove troppo spesso l'attività di misura viene relegata al rango di Cenerentola, è stato propugnato ripetutamente in diverse sedi, in modo da rendere consapevoli gli interessati, e spiegare come disseminazione dei campioni, accreditamento dei laboratori, e servizi di taratura e di ricerca applicata rappresentino un servizio di primaria importanza alle imprese. Di pari passo l'attività divulgativa a diversi livelli di aggiornamenti e risoluzioni ai massimi livelli metrologici, in modo tale da mantenerne al corrente anche tecnici non strettamente addetti ai lavori.

Rilevante, intensa e fruttuosa l'attività accademica. Libero docente in Meccanica Applicata alle Macchine, ed in Misure Meccaniche, oltre a numerosi corsi di aggiornamento e di formazione permanente tenne regolarmente, per oltre trent'anni, corsi ufficiali di Metrologia – classici nella impostazione, e dai contenuti fortemente innovativi al tempo stesso - al Politecnico di Torino prima come professore incaricato, poi di ruolo

ordinario. Per Lui venne infatti istituita la Cattedra di Metrologia Generale e Misure Meccaniche, che ricoprì fino all'andata a riposo per limiti d'età.

Membro fondatore nel 1985 ed attivo sostenitore del dottorato di ricerca in Metrologia, diede importanti contributi e ne seguì sempre attentamente lo sviluppo, anche quando ormai il male non gli consentiva più di intervenire di persona alle riunioni. Morì all'età di 81 anni, dopo una lunga malattia sopportata con grande dignità.

Il ricordo dello scienziato e del maestro vivrà a lungo nella memoria grata di allievi, collaboratori, colleghi ed amici.

*(R. Levi)*

## **Sez. I – I lavori iniziali : misure dinamiche e rilievi su motori a combustione interna**

Dopo la laurea Anthos Bray iniziò un periodo di lavoro presso l'Istituto di Meccanica Applicata dell'Università e l'Istituto Nazionale dei Motori del CNR, sotto la guida dei Professori Ferretti, Taddei e Vocca, con l'interruzione corrispondente al corso presso il Massachusetts Institute of Technology per il conseguimento del Master of Science.

Fin dall'inizio emerge chiaramente l'interesse per le misure, in particolare quelle dinamiche, per le quali analizza in profondità, sul piano teorico, possibilità e limitazioni legate agli aspetti meccanici di trasduttori e sistemi di misura. Coglie subito, e sfrutta a fondo – sviluppando ove del caso circuiti appositi - le nuove possibilità offerte da estensimetri elettrici a resistenza e relativi sistemi elettrici di misura. Questi, pur con le limitazioni della strumentazione analogica con amplificatori a valvole termoioniche – non c'erano ancora transistor e dispositivi numerici – offrono infatti la possibilità di superare decisamente alcuni limiti dei sistemi meccanici tradizionali, in particolare per quanto riguarda la risposta in frequenza.

Dei dodici lavori pubblicati nel periodo 1951-'58, ne riportiamo a titolo d'esempio due: uno (1956,b)<sup>1</sup> di tipo teorico (pur se mirato a specifiche applicazioni motoristiche) sugli errori di misura della pressione variabile, e l'altro (1956,a) su misure estensimetriche di deformazioni dinamiche su una bocca da fuoco, legato questo ad un episodio inedito raccontato dallo stesso autore, ed involontario protagonista.

Il pezzo, durante le prove (effettuate all'aperto in zona urbana, leggi 626 et similia erano di là da venire) sparava proiettili inerti contro un mucchio di sabbia, che avrebbe dovuto arrestare i colpi con tutta sicurezza. Per uno di quei rimbalzi anomali che rappresentano l'incubo nelle prove di tiro, un proiettile finì invece, senza recar danni, sul terrazzo di un alloggio, la cui inquilina espresse con facondia tutta partenopea la sua indignazione, determinando la fine prematura delle prove a fuoco.

*(R. Levi)*

---

<sup>1</sup> Per i riferimenti bibliografici vedi elenco cronologico delle pubblicazioni a fine volume

Anthos Bray – una vita per la ricerca

## **Sez. II – estensimetri elettrici a resistenza - applicazione di estensimetri e rosette nell'analisi degli stati di deformazione piani e tridimensionali**

Trent'anni di attività, pubblicazioni a stampa, conferenze, congressi e seminari, insegnamento all'università, risultati di laboratorio utilizzando sempre la strumentazione e le tecniche più avanzate, hanno fatto di A. Bray in Italia (e non solo) la figura di riferimento per l'uso degli estensimetri elettrici a resistenza.

Tra i molti suoi lavori sull'argomento, qui proponiamo alcuni contributi che si riferiscono ai presupposti teorici dell'estensimetria ed a problemi diversi di utilizzo. I primi due affrontano i due problemi fondamentali per chi vuole utilizzare un estensimetro come strumento di misura:

*Il rilassamento degli estensimetri elettrici a resistenza* (1960,c) affronta il problema fondamentale del cedimento dei legami molecolari tra il filo estensimetrico ed il supporto e tra supporto e materiale su cui l'estensimetro è applicato, ed offre dati sperimentali e suggerimenti per limitare il fenomeno

*The recovery of resistance strain gages* (1961, a) discute il problema della variazione del *gage factor* da un estensimetro all'altro, e la possibilità di riutilizzare gli estensimetri, e presenta risultati sperimentali

Altri lavori sono dedicati all'uso delle rosette, anche annegate all'interno di modelli:

*Gli estensimetri annegati: nuovo metodo per l'analisi tridimensionale delle tensioni* (1970, c) spiega come inserire estensimetri in modelli tridimensionali in resina, e presenta esempi realizzati dagli autori

*Three dimensional strain rosettes: pattern selection and performance evaluation* (1975, b) affronta poi in maniera più completa la tecnica sperimentale dell'inserimento di rosette estensimetriche in modelli di Araldit, e presenta un caso

Infine riportiamo un lavoro scritto in occasione del cinquantenario della scoperta dell'estensimetro elettrico come misuratore di deformazione:

*Testimonianze sull'introduzione e sulle prime applicazioni degli estensimetri elettrici a resistenza in Italia* (1988, g) è un piacevole ed interessante racconto dei primi utilizzi degli estensimetri, arrivati in Italia con il Piano Marshall dopo la fine della seconda guerra mondiale.

Per una completa esposizione in modo sistematico delle conoscenze di A.Bray sulla teoria e l'uso degli estensimetri si deve fare riferimento ai due libri pubblicati nel corso della sua attività: *Gli estensimetri elettrici a resistenza* pubblicato dal CNR nel 1965 (preceduto da dispense universitarie nel 1960) e successivamente i diversi capitoli di *Meccanica Sperimentale* pubblicato da Levrotto e Bella nel 1975 .

(V. Vicentini)

### **Sez. III – Proprietà fisiche degli strati metallici sottili depositati sotto vuoto**

Alla fine degli anni cinquanta il prof Bray, che già aveva una notevole esperienza nel campo delle analisi delle sollecitazioni mediante estensimetri elettrici a resistenza, si trovò ad affrontare il problema della determinazione degli stati di sollecitazione di materiali utilizzati nei reattori nucleari. Si trattava di materiale conduttore (lega di alluminio) esposto alle radiazioni ed operante ad elevate temperature. Era dunque un ambiente nel quale gli estensimetri elettrici usuali non potevano essere impiegati principalmente perché necessitavano, per essere collegati alla struttura in esame, di collanti che non sopportano temperature elevate (400 °C-450 °C).

La soluzione immaginata era del tutto innovativa: depositare il materiale (conduttore od anche semiconduttore) sensibile alla deformazione direttamente sulla struttura da esaminare, mediante la tecnologia degli strati sottili evaporati già studiati in altri settori (si immagini l'alba dell'elettronica così come ora la si conosce). Si presentava, tuttavia, un problema di non facile soluzione: tra lo strato depositato e il materiale costituente la struttura da esaminare bisognava interporre un isolante che reggesse le alte temperature sia durante la deposizione dello strato sia, poi, durante l'impiego. Il problema fu risolto interponendo uno strato isolante di ossido, ottenuto mediante anodizzazione, sul materiale delle strutture in forma di barrette parallelepipedo sottili. Dopo aver condotto degli studi per definire spessore, compattezza e durezza del materiale isolante se ne definiva accuratamente il grado di isolamento mediante misure di resistenza elettrica.

Quindi si sono studiati due tipi di strati estensimetrici:

- leghe metalliche (principalmente Ni-Cr, ma anche Pt-W)
- strati semiconduttori (Ge prima e Si poi)

La produzione degli strati agli inizi fu realizzata mediante gli impianti allora disponibili (camere metalliche evacuate mediante pompe a diffusione di olio e trappole per i vapori di olio) che non consentivano il raggiungimento di pressioni inferiori a  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  Pa, ed evaporazione per effetto Joule prima e poi con cannone elettronico. Questo livello di pressione non consentiva l'ottenimento di strati puliti, ossia privi di contaminanti provenienti e dall'ambiente e dalle pompe, quindi si passò ad un impianto veramente innovativo per i tempi, tanto che anche oggi questo tipo è in uso per il raggiungimento di

ultra alto vuoto o anche di vuoti estremamente bassi (oltre  $10^{-9}$  Pa): camera in acciaio inossidabile riscaldabile fino a 450 °C evacuata mediante una combinazione di pompe (criogeniche ad azoto liquido, ioniche, a sublimazione di titanio) che garantivano il raggiungimento di pressioni nel campo di  $10^{-9}$  Pa. Questo sistema fu equipaggiato fin dall'inizio con cannone elettronico e con un fornello costruito appositamente in grado di raggiungere 1000 °C per il riscaldamento dei substrati.

Nel frattempo si era costituito un gruppo di ricercatori che, con la collaborazione di tecnici, conduceva ricerche sugli strati dal punto di vista:

- strutturale (mediante diffrazione X, microscopia elettronica)
- composizione (fluorescenza X, per gli strati in lega metallica)
- proprietà elettriche (soprattutto volte a stabilire il livello di isolamento tra lo strato depositato ed il supporto metallico sottostante) a varie temperature
- caratteristiche estensimetriche, determinandone la sensibilità alla deformazione in termini di variazione di resistenza in funzione della sollecitazione (carico applicato).

I materiali in strato sottile presentavano una sensibilità alla deformazione inferiore rispetto allo strato massivo, e quindi la ricerca sugli strati sottili si orientò sempre più verso un'indagine sulle cause di tale variazione, attribuibile principalmente alla concentrazione di difetti di diverso tipo negli strati, che venivano studiati con le varie tecniche elencate. Il filone, iniziato con intenti principalmente applicativi, aveva quindi assunto aspetti di ricerca di base.

Questa attività, documentata dai sei articoli che seguono (1960, b - 1963, c - 1964, b - 1966, f - 1967, a - 1970, h), dovette essere abbandonata agli inizi degli anni settanta quando l'IDI divenne una sezione del neonato IMGC, poiché i vari ricercatori si trovarono a dovere avviare nuovi temi di ricerca di argomento metrologico.

*(A. Calcatelli, M. Plassa)*

#### **Sez. IV - Meccanica sperimentale, analisi delle sollecitazioni e proprietà meccaniche dei materiali**

*“Per molto tempo i metodi analitici hanno prevalso nel campo della resistenza dei materiali. La larga introduzione dei metodi sperimentali ha portato nuova vita nella ricerca...”* scriveva A. Bray nel 1972, citando S.P. Timoshenko, ed a questo approccio egli si tenne fedele con 40 anni di attività testimoniati da numerosi lavori rivolti alla messa a punto di strumenti di misura sempre più precisi e raffinati, alla raccolta di dati utili per la scienza dei materiali e le normative di impiego, ed all'analisi delle sollecitazioni in componenti meccanici reali. Un'attività a tutto campo, dunque.

A testimonianza della sua attività nel campo della messa a punto di metodi di misura abbiamo scelto uno dei primi lavori come responsabile dell'Istituto Dinamometrico Italiano *La taratura degli estensimetri* (A. 1958, d) dove si descrivono tecniche, cure ed accorgimenti da adottare per rilevare piccole deformazioni con estensimetri elettrici, leve meccaniche ed ottiche. Più di venti anni dopo, primo italiano invitato a tenere una *W.M.Murray Lecture: The role of Stress Analysis in the Design of Force-standard Transducers* A. Bray, ormai un'autorità sull'argomento, parla invece dell'utilizzo di diversi e complementari metodi sperimentali per la messa a punto di trasduttori di forza (1980, f)

Da buon ingegnere egli peraltro riteneva che questi raffinati strumenti e queste tecniche di laboratorio dovevano servire per la raccolta di dati utili alla scienza dei materiali. Proponiamo qui quattro esempi di lavori in questa direzione: *Esperienze sul fenomeno d'isteresi meccanica del rame* (1959, a) è uno dei suoi primi lavori. *Il carico di snervamento degli acciai dolci* (1967, b) è il resoconto del lavoro svolto in collaborazione tra quattro laboratori italiani per la raccolta (con un piano di esperimento di tipo fattoriale) di risultati utili alla elaborazione di una nuova norma ISO, poi adottata. *A computerized method for the evaluation of Bauschinger Effect* (1980, e) è un esempio di ottimizzazione della raccolta ed analisi di dati sperimentali. *Wire drawing process modellization* (1996, b2) uno degli ultimi lavori, mostra l'utilizzo di modellazioni ad elementi finiti per l'interpretazione di processi che coinvolgono grandi deformazioni plastiche.

Vi sono poi esempi di analisi completa di sollecitazione su componenti critici di macchine. Ne riproponiamo tre: *Static and dynamic strain analysis of a typewriter driving ratchet* (1966, c) su *Atti della accademia delle Scienze di Torino* è una bella analisi, statica

e dinamica, con estensimetri elettrici, fotoelasticità e fotografia ad alta velocità su di un piccolo componente in lamiera tranciata. *Il comportamento elastico dei subbi in lega leggera per l'avvolgimento dei filati* (1968, c) riguarda invece un grosso componente studiato in laboratorio ed in esercizio con prove statiche, estensimetri e fotoelasticità tridimensionale. *Factor affecting the tightening characteristics of bolts* (1965, a) è infine un bell'esempio di applicazione della statistica alla programmazione ed analisi degli esperimenti.

(V. Vicentini)

### **Sez. V – Metrologia delle forze, sviluppo di campioni primari e secondari e misura dell'accelerazione di gravità**

In questa sezione sono raccolti una parte dei lavori del Prof. Anthos Bray relativi alla metrologia delle forze, e rispecchiano uno dei suoi principali filoni di attività. Essi comprendono tutti gli aspetti che sottintendono una catena metrologica: dallo studio delle caratteristiche metrologiche delle celle di carico (1963,2 – 1963,f – 1968, b – 1970, f – 1972, c – 1972, e – 1973, c – 1974, e – 1987 – 1995, d) e dei fattori di influenza (1966, b – 1966, e . 1984, a), al loro impiego nella metrologia primaria, allo sviluppo dei campioni (1980, b – 1980, c – 1980, f) ed alla loro caratterizzazione (1993,a) e riferibilità internazionale (1980, b -1988, c).

Particolarmente importante è stata la presenza di Bray nello sviluppo e nell'organizzazione della metrologia delle forze a livello sia nazionale sia internazionale. Seguendo e sviluppando quanto anticipato dal Prof Colonnetti egli, oltre a installare e caratterizzare metrologicamente il campione a pesi diretti da 100 kN presso l'IMCC (1956, c), aveva intuito le necessità per un paese fortemente industrializzato dell'ulteriore sviluppo di questo settore strategico ed aveva saputo ottenere il consenso dei Ministeri competenti e del CNR per il progetto e l'acquisizione dei campioni primari a pesi diretti da 30 kN ed 1 MN (1982, b – 1990, a – 1992, b – 1993, b - 1995, a).con caratteristiche fortemente innovative.

Contemporaneamente aveva intuito la necessità di una riferibilità internazionale per i campioni delle varie grandezze, facendo discendere una proposta di collaborazione fra i vari istituti metrologici che anticipava di quasi due decenni la proposta dei confronti chiave del BIPM.

Vorrei ricordare a questo proposito le conclusioni del Prof. Weiler e del Prof. Wieringa al Congresso IMEKO TC3 (September 1971) ...” During the discussion of lectures Prof. A. Bray (IMGC,Torino, Italy) proposed to found an ad hoc committee in order to organize comparison measurements of force standard machines of the different government institutes. The ad hoc committee agreed that Prof. W. Weiler (PTB, Braunschweig, GFR) should start this work by comparing the small dead weight machines for 20 kN and 100 kN of the PTB and IMGC (AB 1976, b) where as Mr. Debnam (NPL) and

Mr. Wieringa (TNO) should compare the 0.5 MN machines of the Netherlands (TNO) and of the United Kingdom (NPL)".

Un'altra delle caratteristiche del Prof. Bray è stata quella di far seguire a risultati sperimentali proposte di linee di ricerca interne all'IMGC e di trasferire tali proposte a livello internazionale ottenendone l'assenso degli altri istituti metrologici e delle strutture di coordinamento e finanziamento europee (BCR). Emblematico sotto questo aspetto è l'intervento del Prof. Bray alla Tavola Rotonda IMEKO (Londra, 1976) che ha rappresentato un punto chiave per il riconoscimento e lo sviluppo a livello mondiale della metrologia multicomponenti finalizzata al controllo ed al miglioramento dei campioni primari di forza (1976, a). Nel suo intervento il Prof. A. Bray presentò i primi risultati ottenuti all'IMGC con un dinamometro a due componenti a conferma che le componenti parassite che si erano evidenziate nel confronto fra campioni primari (NPL e TNO) erano anche altre rispetto ai semplici momenti ribaltanti, e di prove sistematiche sulla sensibilità di celle di carico di differente struttura alle componenti parassite. Questi risultati, oltre quelli ricavati nelle prove con rosette estensimetriche annegate, fecero sì che il BCR affidasse all'IMGC lo sviluppo di campioni a 6-componenti e l'effettuazione di successive campagne di interconfronto, contribuendo a sostanziare la leadership del gruppo forze dell'IMGC a livello mondiale in questi ultimi 30 anni (1978, c - 1984, b- 1984, d – 1985, b – 1986, c – 1992, a).

Una sintesi dei risultati ottenuti è rappresentata nei numerosi lavori raccolti in questo volume. Vogliamo ricordare in particolare la Murray Lecture tenuta dal Prof. Bray al 4th SESA Intern. Congress on Exp. Mechanics (Boston, 1980), le lezioni tenute al corso su Metrology & Fundamental Constants (Varenna, 1980), il lavoro presentato al Congresso IMEKO del 1978 (An investigation on parasitic effects on force standard machines) e la presentazione dei nuovi campioni a pesi diretti da 30 kN e 1 MN).

Un altro settore dove, per una felice intuizione del Prof. Bray, l'IMGC ha avuto la leadership a livello mondiale per oltre 20 anni è stato quello della misura dell'accelerazione di gravità, grandezza fondamentale sia nel campo della geo-fisica sia in quello per la definizione della stessa forza sia nel settore della metrologia legale (1988, a - 1994, b -1995, b – 1995, c).

(C. Ferrero)

## **Sez. VI - Metrologia generale**

In questa sezione sono raccolti una parte dei lavori del Prof. Anthos Bray di metrologia generale. Si apprezzano particolarmente:

- una serie di articoli di metrologia applicata alla meccanica, come ad esempio le misure dei coefficienti di smorzamento con il metodo della risonanza per il controllo delle saldature (1973, a); attività svolta con metodi non distruttivi nell'ambito di un contratto di ricerca con la ditta Olivetti S.p.A.
- una serie di articoli generali sulla metrologia meccanica e l'industria (ad esempio 1970, a – 1980, d) dove vengono comparate ed associate le attività dei laboratori industriali con quelle dei laboratori metrologici al fine di migliorare il controllo della qualità dei prodotti e dei processi di produzione. Interessante una delle conclusioni del Prof. A. Bray *“Controllo di qualità ed affidabilità si ottengono solo con una metrologia di qualità, e l'esistenza di una metrologia di qualità è giustificata perciò da una produzione di precisione ed affidabile”*.
- una serie di articoli che presentano le attività nazionali nel settore della metrologia (ad esempio 1968, d – 1974, f). Tali articoli sono estremamente utili e dimostrano come il Prof. A. Bray, fin dal 1960, credesse fermamente ad una unica struttura italiana per la metrologia capace di mantenere e disseminare i campioni nazionali, offrire un servizio al paese per l'accreditamento dei laboratori di taratura, svolgere attività di taratura al servizio delle imprese e relazionarsi con i bisogni della metrologia legale. Numerosi sono gli articoli che presentano le evoluzioni dei campioni nazionali e dei servizi metrologici in Italia.
- una serie di articoli che rappresentano il continuo sforzo del Prof. A. Bray di riportare e far conoscere a livello nazionale quanto si andava costruendo, anche grazie al proprio contributo, a livello internazionale. Tra questi articoli relativi alla evoluzione ed aggiornamento del Sistema Internazionale (SI) delle unità di misura (ad esempio 1969) e varie risoluzioni a seguito delle approvazioni nelle Conferenze Generali dei Pesi e delle Misure (CGPM) in cui il Prof. A. Bray partecipò in rappresentanza dell'Italia. Sono anche presentati articoli relativi alle celebrazioni scientifiche del centenario (Maggio 1975) della Convenzione del Metro.

Da questo insieme di lavori emerge una delle caratteristiche del Prof. A. Bray: maestro nella scienza delle misure ma capace altresì di coniugare le sue funzioni di rappresentante italiano della metrologia con le scelte operative di rafforzamento degli enti metrologici nazionali e della necessità di costruire in Italia un servizio di accreditamento dei laboratori di taratura (che poi diverrà il Servizio Italiano di Taratura SIT previsto dalla Legge 273-1991). Non va dimenticato inoltre, come traspare da alcuni articoli, il profondo rispetto ed ammirazione che A. Bray ebbe costantemente per il Prof. G. Colonnetti, fiero nel realizzare quanto egli aveva previsto ed avviato.

*(G. Molinar Min Beciet)*

### Publicazioni di Anthos Bray, 1950-1998

- 1950 *Errori di misura degli indicatori di pressione a raggio catodico*, A.T.A., **3**, 80
- 1951 a *Il metodo I.N.M. per la taratura degli indicatori di pressione a raggio catodico*, A.T.A., **4**, 1  
b *Il freno aerodinamometrico Moriondo*, L'Ingegnere, **25**
- 1952 *Misure estensimetriche di deformazioni dinamiche*, Rivista d'ingegneria, **2**
- 1954 a *La misura della detonazione*, Coll. Studi Fond. Beneduce, n. 3  
b *Caratteristiche di progetto di un indicatore della detonazione*, La Ricerca, **5**  
c *Un nuovo indicatore della detonazione*, A.T.A. – Ricerche, **7**
- 1955 a *L'impiego degli additivi nei combustibili Diesel*, Atti Ist. Univ. Navale di Napoli, **24**  
b *Accelerometri e vibrometri*, La Ricerca, n. 1 e 2  
c *Misura del rendimento di un riduttore di velocità*, Ingegneria Meccanica, **4**
- 1956 a *Misure estensimetriche di deformazioni dinamiche su una bocca da fuoco*, La Metallurgia It., **48**  
b *Errori di misura della pressione variabile*, Atti Istituto Universitario Navale di Napoli, **25**  
c *Impianto di taratura delle forze fino a 100 t*, La Ricerca Scientifica, **26**, n. 8
- 1958 a *Démonstration visuelle du phénomène d'hystérésis mécanique*, (in collaborazione con G.Colonnetti), IDI-CNR, Expo. Univ. Bruxelles  
b *Contributo allo studio del fenomeno di isteresi meccanica dei solidi deformabili*, (in collaborazione con M.Save), Acc. Sci. To, **92**, 57-58  
c *Contribution à l'étude du phénomène d'hystérésis mécanique des solides déformables*, (in collaborazione con M.Save), (in collaborazione con), Bull. Centre d'Etudes de Recherches ed d'Essais Scientifiques du Génie Civil, **9**  
d *La taratura degli estensimetri*, Strumentazione e Automazione, **6**, n. 6  
e *L'impiego degli additivi nei combustibili Diesel e negli oli lubrificanti per motori a C.I.*, A.T.A.  
f *Un metodo per tarare gli estensimetri*, Acc. Sci. To, **92**, 57-58  
g *La registrazione dei cicli d'isteresi meccanica*, Acc. Sci. To, **93**, 58-59
- 1959 a *Esperienze sul fenomeno di isteresi meccanica del rame*, L'Ingegnere, **33**  
b *COINIM, Attività svolta nel triennio 1956-'58*, La Ricerca Scientifica, **29**, n. 9
- 1960 a *Experimental investigations on residual stresses in combined bending-tension*, (in collaborazione con J.N. Distefano), Acc. Sci. To, **94**, 59-60  
b *The Strain Sensitivity of Alloy Films prepared by Vacuum Deposition*, (in collaborazione con A.Suardo), Strain Gage Readings, **3**, n. 4  
c *Il rilassamento degli estensimetri elettrici a resistenza*, Giornale del Genio Civile, n. 9  
d *Estensimetri elettrici a resistenza*, Levrotto & Bella, Torino, pp. XI - 245
- 1961 a *The recovery of resistance strain gages*, Acta IMEKO 21.IT.168  
b *L'uso dei semiconduttori nell'estensimetria*, La Metallurgia Italiana, **53**, n. 11
- 1962 a *Risultati sperimentali su un problema di elasto-plasticità*, Acc. Sci. To, 96, 61-62  
b *La 2ª Conferenza internazionale di metrologia*, Notiz. La Ricerca Scientifica, **1**, n. 11-12
- 1963 a *L'Istituto Dinamometrico Italiano, Torino Attività svolta nel periodo 1959-'61*, La Ricerca Scientifica, **31**

- b *L'Istituto Dinamometrico Italiano, Torino Attività svolta durante l'anno 1962*, La Ricerca Scientifica, **31**
- c *Sulla sensibilità alle deformazioni di strati sottili di Ni-Cr evaporato sotto vuoto*, (in collaborazione con P.Valabrega), La Ricerca Scientifica, **33**, n. 2
- d *Il recupero degli estensimetri elettrici a resistenza*, Ingegneria Meccanica, **12**, 1
- e *I dinamometri con estensimetri elettrici a resistenza*, La Metallurgia Italiana, **55**, n. 6
- f *Dinamometro di precisione con estensimetri elettrici a resistenza*, L'Ingegnere, **37**
- g *Facilmente con le tensiovernici*, Rivista di meccanica
- 1964 a *Determinazione dello stato di tensione di un solido di rivoluzione caricato assialmente*, (in collaborazione con R.Levi), Ingegneria Meccanica, **13**, 1
- b *The Strain Sensitivity of Ge and Cr-Si Thin Films Deposited under Vacuum*, (in collaborazione con M.Plassa), Acta IMEKO 21.IT.193
- c *The strain sensitivity of Cr-Si and Ge films prepared under Vacuum*, (in collaborazione con M.Plassa), La Ricerca Scientifica, **34**
- d *Contributo alla determinazione di proprietà elastiche dell'acciaio inossidabile ad alta temperatura*, (in collaborazione con R.Colombo, A.Petruccioli Balzari), La Metallurgia Italiana, **56**, n. 16
- 1965 a *Factors Affecting the Tightening Characteristics of Bolts*, (in collaborazione con R.Levi), Proc. 2<sup>nd</sup> SESA Int. Congr. Exper. Mech., Washington
- b *Estensimetri elettrici a resistenza*, CNR, Roma, pp. XII - 371
- 1966 a *Una livella elettronica per la misura della variazione di pendenza della Torre di Pisa*, Acc. Sci. To, **100**, 65-66
- b *The effect of temperature on load cells*, (in collaborazione con M. Gianasso), Acc. Sci. To, **100**, 65-66
- c *Static and dynamic strain analysis of a typewriter driving ratchet*, (in collaborazione con R.Levi), Acc. Sci. To, **100**, 65-66
- d *Fattori che influiscono sulle caratteristiche di serraggio dei bulloni*, (in collaborazione con R.Levi), Ingegneria Meccanica, **15**, 11
- e *Die Temperatureffekte an Kraftmeßdosen*, (in collaborazione con M.Gianasso), Feingerätetechnik, **15**, 12
- f *Vacuum deposited films at high temperature*, (in collaborazione con A. Calcatelli), Instrument Control Systems, **39**, 11
- 1967 a *La sensibilità alla deformazione degli strati sottili depositati sotto vuoto*, (in collaborazione con), Ingegneria Meccanica, **16**,1
- b *Il carico di snervamento degli acciai dolci*, (in collaborazione con R.Levi, S.Pescivolo), Ingegneria Meccanica, **16**, 8
- 1968 a *Le forze di attrito secco nei bulloni*, Ingegneria Meccanica, **17**, 10-11
- b *La dinamometria di precisione alle elevate portate*, (in collaborazione con M.Vattasso), L'Ingegnere, **42**, n 3,
- c *Il comportamento elastico dei subbi in lega leggera per l'avvolgimento dei filati*, (in collaborazione con V.Vicentini), Panorama tessile, **5**, n 31
- d *Attività nazionali nel settore della metrologia*, L'unificazione, n. 4
- 1969 *Aggiornamento sul Sistema Internazionale di unità di misura*, Giornale di Fisica, **10**, n. 4
- 1970 a *La metrologia meccanica e l'industria*, XI Conv. Int. Autom. e Strum., Milano

- b *Usa di sistemi automatici nell'analisi delle tensioni*, (in collaborazione con V.Vicentini), *Disegno di Macchine*, **4**
  - c *Gli estensimetri annegati: nuovo metodo per l'analisi tridimensionale delle tensioni*, (in collaborazione con S.Desogus), *Ingegneria Meccanica*, **19**, 12
  - d *Measuring with strain-gages*, 14<sup>ème</sup> Congr. Ass. Eur. Contr. Qualité, "Métrologie- Qualité- Données", Lausanne
  - e *Misure con gli estensimetri elettrici a resistenza*, *Boll. Inf. AICQ*, **13**, 9
  - f *The design of proving rings with strain gauges*, *Materialprüfung*, **12**
  - g *Measuring with strain gages*, Proc. 14<sup>th</sup> EOQC, Lausanne
  - h *Strain sensitivity of vacuum deposited films*, (in collaborazione con A.Calcatelli, M.Plassa, G.Zosi), *VDI Berichte* n. 137
- 1971 *La misura del coefficiente di smorzamento con il metodo della risonanza per il controllo di corpi saldati*, (in collaborazione con M.Gianasso), 1° Congr. Naz. AIMETA, Udine
- 1972 a *Sistema di unità di misura, l'uso del S.I.*, Manuale Italsider
- b *La metrologia meccanica e l'industria*, *Qualità*, II, n. 6
  - c *The Influence of Contact Stresses on the Characterization of a Load Cell*, *VDI Berichte* 178
  - d *L'analisi delle sollecitazioni al servizio dell'industria*, Atti 1° Conv. Naz. AIAS, Palermo
  - e *Gli anelli dinamometrici. Le formule esatte per la loro progettazione*, Atti 1° Conv. Naz. AIAS, Palermo
- 1973 a *The resonance technique for measuring the damping coefficient in welded bodies*, (in collaborazione con M.Gianasso), *Materials Evaluation*, **31**, n. 8
- b *La distribuzione delle tensioni di contatto*, (in collaborazione con L.Bianchi), Atti 2° Conv. Naz. AIAS, Genova
  - c *Influenza dei perni nei dinamometri ad anello*, (in collaborazione con A.Pastore, S.Desogus, V.Vicentini,), Atti 2° Conv. Naz. AIAS, Genova
- 1974 a *Gli estensimetri annegati*, (in collaborazione con S.Desogus, R.Levi), *Notiziario AIAS*, **4**
- b *I mezzi per il trasferimento dell'informazione in un istituto di ricerca del C.N.R.*, 4° Conv. Organiz. Aziend. Ind. Mecc., Torino, 1/14
  - c *La misura di stati di deformazione mediante rosette tridimensionali: valutazione delle configurazioni e problemi applicativi*, (in collaborazione con S.Rossetto, R.Levi), Atti 2° Congr. Naz. AIMETA, Napoli
  - d *Uncertainties and Errors in Magnitude and Direction of Principal Strains Evaluated with Three-Dimensional Strain Rosettes*, (in collaborazione con S.Rossetto, R.Levi,), Proc. 5th Int. Conf. on Exp. Stress Analysis, Udine
  - e *I recenti sviluppi dei sistemi di misura di forza*, *Ingegneria Meccanica*, **23**, 12
  - f *Gli enti metrologici ed i campioni nazionali*, *Qualità*, **4**
- 1975 a *Centenario della convenzione del metro*, *Qualità*, **5**
- b *Three dimensional strain rosettes: pattern selection and performance evaluation*, (in collaborazione con S.Rossetto, R.Levi), *Experimental Mechanics*, **15**, 10
  - c *IMEKO VII – La pratica delle misure per migliorare il rendimento*, *Ingegneria Meccanica*, **24**, 11
  - d *Meccanica sperimentale*, (in collaborazione con V.Vicentini), Levrotto & Bella, Torino, pp. XIII - 630

- 1976 a *Interaction deadweight machine - load cell*, 7<sup>th</sup> RT IMEKO TC 3
- b *A comparison of force standards between the Istituto di Metrologia "G. Colonnetti", Torino and the Physikalisch-Technische Bundesanstalt*, (in collaborazione con R.Levi, M.Vattasso, W.Weiler, A.Sawla, M.Peters), Braunschweig, 6th Conf. of IMEKO TC on Measurement of Force and Mass
- c *I campioni delle unità di misura ed i servizi metrologici*, Cronache di Chimica n. 49
- 1977 d *Un moderno metodo di elaborazione automatica dei diagrammi tensione – deformazione*, (in collaborazione con P.C.Cresto, G.Gabola), Atti 5° Conv. Naz. AIAS, Bari
- 1978 a *Simulazione mediante elaboratore elettronico del "Bauschinger Chart" dei materiali metallici*, (in collaborazione con P.C.Cresto, G.Gabola), Atti 6° Conv. Naz. AIAS, Brescia
- b *Misure di forza e massa a Odessa*, Quaderni di ricerca, n. 13
- c *Eine Untersuchung über Störeinflüsse auf Kraft-Normalmesseinrichtungen mit unmittelbarer Massenwirkung*, (in collaborazione con C.Ferrero, R.Levi, C.Marinari), VDI Berichte 312
- 1979 a *New methods and research trends in the dissemination of the standards of measurement units*, Italian Machinery and Equipment, **11**
- b *Raccomandazione sugli estensimetri elettrici a resistenza – note introduttive*, (in collaborazione con A.Ajovalasit, G.Barbato, M.F.Tschinke), 7° Conv. Naz. AIAS, Cagliari
- 1980 a *VIII Congresso IMEKO di Mosca – Le misure per il progresso nella scienza e nella tecnologia*, Quaderno di ricerca ETAS, n. 24
- b *The dissemination of Force Standards*, Metrology & Fundamental Constants, SIF
- c *The Accuracy of Force Standards and Measurements of Gravity Acceleration*, Metrology & Fundamental Constants, SIF
- d *Nuovi metodi e tendenze di ricerca nella disseminazione dei campioni delle unità di misura*, Ingegneria Meccanica, **29**, 1/2
- e *A computerized method for the evaluation of the Bauschinger Effect – Application to different types of steels*, (in collaborazione con P.C.Cresto, A.Ferro -Milone, G.Gabola), Materialprüfung **22**
- f *The Role of Stress Analysis in the Design of Force-standard Transducers*, Experimental Mechanics, **21**
- 1981 *Metrologia-misura e controllo di qualità in meccanica*, Qualità, **38**
- 1982 a *Estensimetri elettrici a resistenza – Impiego ed analisi dei risultati*, (in collaborazione con A.Ajovalasit, G.Barbato, G.DiChirico, R.Levi, M.F.Tschinke), Suppl. Atti 10° Conv. Naz. AIAS, Cosenza
- b *Structural Properties of Force Standard Machines*, Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. Stress Analysis
- 1983 a *Come e quando adottare gli estensimetri elettrici a resistenza*, Rivista di meccanica, n. 7
- b *Operare direttamente sul prototipo*, Rivista di meccanica, n. 8
- c *Dalle frange lo stato di sollecitazione*, Rivista di meccanica, n. 9
- d *L'ultima nata tra le tecniche ottiche*, Rivista di meccanica, n.21
- 1984 a *An analysis of the effect of strain-gages positioning in a square-ring load cell*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi, D.Scapaticci), Proc. 10<sup>th</sup> IMEKO TC 3 Conf., Kobe
- b *How to control testing machines for force measurements*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi), Proc. 10<sup>th</sup> IMEKO TC 3 Conf., Kobe

- c *Performance evaluation of standard methods for load verification of testing machines*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi), Proc. 10<sup>th</sup> IMEKO TC 3 Conf., Kobe
- d *Multicomponent dynamometers for control of parasitic components on force standard machines*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi), Proc. Int. Conf. on Exp. Mech., Beijing
- 1985 a *La metrologia e l'industria*, L'Elettrotecnica, **72**, n. 6
  - b *Criteri di progettazione ed analisi delle caratteristiche metrologiche di dinamometri a più componenti*, (in collaborazione con G.Barbato, A.Germak, R.Levi), Atti 13° Conv. Naz. AIAS, Bergamo
- 1986 a *Centenario della nascita di Gustavo Colonnetti – ricordi di un allievo*, Rotary Club Torino
  - b *Effetti parassiti su dinamometri multicomponenti di elevata portata*, (in collaborazione con G.Barbato, A.Germak, R.Levi), Atti 14° Conv. Naz. AIAS, Catania
  - c *Calibration and verification of multicomponent dynamometers in the meganewton range*, (in collaborazione con G.Barbato, A.Germak, R.Levi), Proc. 11<sup>th</sup> IMEKO TC 3 Conf., Amsterdam
- 1987 *I dinamometri ad anello schiacciato; analisi delle caratteristiche metrologiche e dello stato di sollecitazione*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi, F.Trevissoi, A.Zompi), Atti 15° Conv. Naz. AIAS, Pisa
- 1988 a *Misure gravimetriche e loro finalità*, (in collaborazione con G.Cerutti), Scienza & Tecnica, Annuario della EST
  - b *Problemi attuali di metrologia*, Scienza & Tecnica, Annuario della EST
  - c *The worldwide network of force standards*, Measurement, **6**
  - d *Methods for the design of flattened-ring dynamometers*, (in collaborazione con G.Barbato, A.Germak, R.Levi, A.Zompi), Proc. IMEKO XI World Congr., Houston
  - e *Accounts witnessing the use of Strain gages in Italy*, Proc. RT of TC3 & TC15, IMEKO XI World Congr.
  - f *The early applications of strain gages in Italy*, Proc. RT of TC3 & TC15, IMEKO XI World Congr.
  - g *Testimonianze sull'introduzione e sulle prime applicazioni degli estensimetri elettrici a resistenza in Italia*, Atti 16° Conv. Naz. AIAS, L'Aquila
- 1989 *Il ruolo della metrologia in Europa ed in Italia*, Atti Conv. "La qualità per l'Europa", Torino
- 1990 a *The new 30 kN force standard installed at the Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" - metrological and technical characteristics*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi, F.Trevissoi), Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. of IMEKO TC-3, Szeged
  - b *La misura della forza: una nuova macchina campione primario da 30 kN*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi), Atti 18° Conv. Naz. AIAS, Amalfi
  - c *Theory and Practice of Force Measurement*, (in collaborazione con G.Barbato, R.Levi), Academic Press, London, pp. XIV - 380
- 1991 a *Indirizzi di ricerca nel settore delle misure meccaniche e termiche, nella prospettiva dell'integrazione europea*, Atti Conv. Università L'Aquila
  - b *Qualificazione del personale addetto alle prove estensimetriche e relativa certificazione*, (in collaborazione con A.Ajovalasit, G. Barbato, G.DiChirico, M.F.Tschinke), Atti 20° Conv. Naz. AIAS, Palermo
  - c *Evoluzione dei materiali di riferimento*, Atti Conv. Naz. "Certif. dato fisico-chimico", Torino

- 1992 a *Field calibration method for multicomponent robotic force/moment transducers*, (in collaborazione con G.Barbato, S. Desogus, A. Germak, F. Franceschini, R. Levi), Proc. ISMCR '92, AIST – IMEKO, Tsukuba
- b *The force measurement. Design and constructional criteria for new force standard machines*, Proc. Int. Conf. on Experimental Mechanics, Limerick; Elsevier
- c *The Evolution of Metrology during the Last Decade*, Proc. Int. School of Physics “E. Fermi”, S.I.F.
- 1993 a *La stabilità delle celle di carico di elevata portata usate come campioni di riferimento*, (in collaborazione con G.Barbato, F.Franceschini, F.Trevissoi), Atti 21° Conv. Naz. AIAS, Genova
- b *Analysis of the calibration procedure of a deadweight force standard machine*, (in collaborazione con G.Barbato, F.Franceschini, R.Levi, F.Trevissoi), Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. of IMEKO - TC3, Helsinki
- c *La misura delle proprietà meccaniche dei fili metallici di piccolo diametro*, (in collaborazione con G.Forlin, F.Franceschini, R.Levi, A.Zompì), Atti 1° Congr. Naz. Misure Meccaniche e Termiche, Villasimius
- d *Strain Gage Sensors*, Mech. Sensors, (in collaborazione con G.Barbato), 7, ed. VCH
- e *Sensors for Measuring Force*, Mech. Sensors, (in collaborazione con G.Barbato), 7, ed. VCH
- f *Forza, misurazione della*, Enciclopedia Italiana
- 1994 a *Messung der Mechanischen Eigenschaften von Feinstdrähten*, (in collaborazione con G.Forlin, F.Franceschini, R.Levi, A.Zompì), Draht, **45**, n. 3
- b *Gravity correction: an Italian preliminary proposal*, (in collaborazione con G.Barbato, G.Cerutti, F.Franceschini, I.Marson, M.Murgo), OIML Bull., **35**
- 1995 a *The new 1 MN dead-weight force standard machine: description of the installation procedure followed at the Istituto di Metrologia “G. Colonnetti”*, (in collaborazione con G.Barbato, F.Franceschini, R.Levi, F.Trevissoi), Proc. IMEKO 12<sup>th</sup> World Congress, Torino
- b *The effect of gravity acceleration on non-automatic weighing systems*, (in collaborazione con G. Barbato, F.Franceschini), Measurement, **15**
- c *Gli effetti della forza di gravità sui sistemi non automatici di pesatura*, (in collaborazione con G.Barbato, F.Franceschini), Automazione e Strumentazione
- d *Effetto di rotazione ed effetto di estremità; un modello per la valutazione dell'incertezza nelle misure di forza effettuate con dinamometri*, (in collaborazione con G. Barbato, F. Franceschini, E.Xhomo), 2° Congr. Naz. Misure Meccaniche e Termiche, Bressanone
- 1996 a *Rotational and end effects; a model for uncertainty evaluation in force measurements by means of dynamometers*, (in collaborazione con G.Barbato, F.Franceschini, E.Xhomo), Measurement, **17**
- b *Wire Drawing Process Modellization: Main Results and Implications*, (in collaborazione con D.Antonelli, F.Franceschini, R.Levi, D.Romano, A.Zompì), Proc. AMST'96, Udine
- c *Experimental Investigation into the Strain-Hardening Characteristic of Steel Wire in Multipass Cold Drawing*, (in collaborazione con D.Romano, F.Franceschini, R.Levi, A.Zompì), Atti 25<sup>o</sup> Conv. Naz. AIAS, Lecce
- d *An Automatic Procedure for Evaluation of Young's Modulus of Metallic Materials*, (in collaborazione con G.Barbato, F.Franceschini, R.Levi, D.Romano, A.Zompì), Proc. Int. Conf. Material Engrg., AIAS, Gallipoli

- 1997 a *Free-cylinder strain-gauge pressure transducer for pressure measurements up to 0,5 GPa*, (in collaborazione con F. Molinar, R.Wisniewski, R.Maghenzani, L.Nespoli), Proc. IMEKO 14<sup>th</sup> World Congress, Tampere
- b *Pressure transducer for pressure measurements in liquids up to 0,5 GPa*, (in collaborazione con F. Molinar, R.Wisniewski, R.Maghenzani, L.Nespoli), Measurement, **24**
- 1998 *An Automatic Procedure for Evaluation of Young's Modulus of Metallic Materials*, (in collaborazione con G.Barbato, F.Franceschini, R.Levi, D.Romano, A.Zompi), Journal of Testing and Evaluation, **26**, n.1