

INO-CNR
ISTITUTO
NAZIONALE DI
OTTICA

Individuazione di difettosità nel processo di saldatura laser continua di parti metalliche

Guido Toci

Seminario

“Un tesoro dal mondo della ricerca pubblica:
le tecnologie del CNR a disposizione delle imprese”

Camera di Commercio di Reggio Calabria



INO-CNR
Istituto Nazionale
di Ottica

Il brevetto

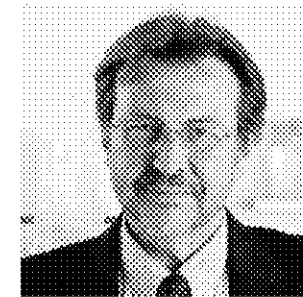


“Method for detecting flaws in the process for the continuous laser welding of metallic portions”

Inventori



Guido Toci
INO-CNR



Roberto Pini
IFAC-CNR

Data prima registrazione : 31/08/2010

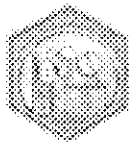
Famiglia di brevetti:

Brevetto italiano	ITRM20100461 (A1)
European Patent	EP2611565 A1
WIPO Patent	WO2011IB53767
US Patent	US2014149075 (A1)

Guido Toci

INO-CNR

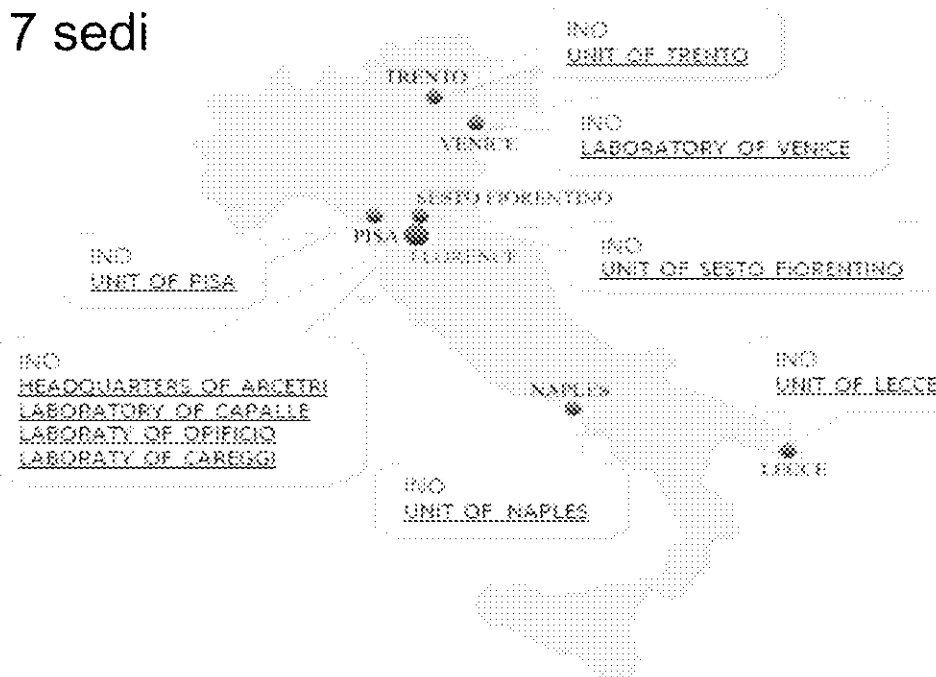
guido.toci@ino.it



INO-CNR
NATIONAL
INSTITUTE OF
OPTICS

Istituto Nazionale di Ottica INO-CNR

7 sedi



>100 ricercatori



www.ino.it

L'attuale Istituto Nazionale di Ottica opera da oltre novanta anni nel settore dell'Ottica, intesa nell'accezione più ampia.

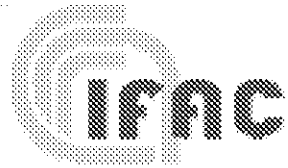
Le attività si articolano in programmi di ricerca pura e applicata, di trasferimento tecnologico, di consulenza, di misura e collaudo, disponibili per imprese e enti pubblici ed imprese, e attività di formazione

Guido Toci

INO-CNR

guido.toci@ino.it

www.ino.it



Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", IFAC-CNR



Sede: Sesto Fiorentino (FI)



www.ifac.cnr.it

45 ricercatori, 14 tecnici

Settori di ricerca

Elaborazione segnali ed immagini
Laser e applicazioni
Osservazione del sistema Terra

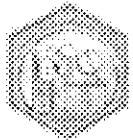
Elettromagnetismo applicato
Optoelettronica e fotonica
Struttura della materia e spettroscopia

Guido Toci

INO-CNR

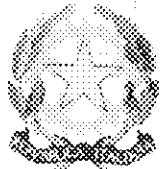
guido.toci@ino.it

www.ino.it

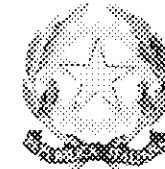


INO-CNR
 ISTITUTO NAZIONALE
 DI RICERCA

Il progetto



Progetto di Ricerca Nazionale "Smart Flex"
 FAR DM29107 - FIRB RBIP06WJ4W
 28/9/2007 - 23/09/2010



Finanziato dal MIUR su:

*Fondo per Investimenti sulla Ricerca di Base (FIRB)
 Fondo per le Agevolazioni alla Ricerca (FAR)*

Partner:

Centro Ricerche Fiat



COMAU



Consiglio Nazionale delle Ricerche
 (ITIA-CNR , IFAC-CNR)



Magneti Marelli



Università di Genova
 Dip. Ing. Meccanica



ENEA



Univ. Catania
 Dip. Ingegneria



Guido Toci

INO-CNR

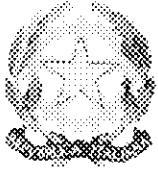
guido.toci@ino.it

www.ino.it



INO-CNR
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA

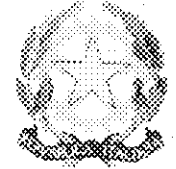
Il progetto



Progetto di Ricerca Nazionale "Smart Flex"
Sistemi di Produzione Intelligenti, Flessibili e Riconfigurabili

FAR DM29107 - FIRB RBIP06WJ4W

28/9/2007 - 23/09/2010



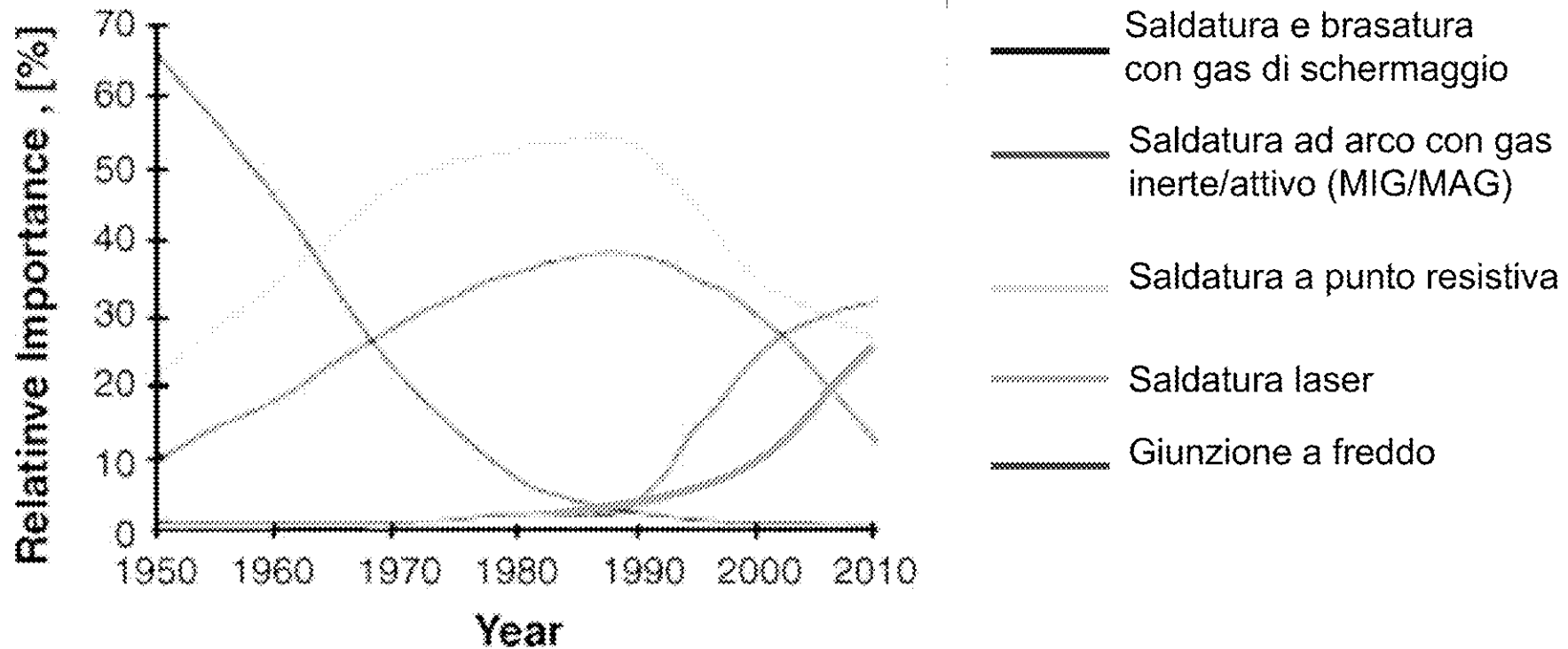
Nostri obiettivi del progetto:

Nuovi metodi di monitoraggio di processo e controllo della qualità del prodotto
nelle produzioni automobilistiche

**Sistemi di monitoraggio on line per processi di saldatura laser continua di
parti metalliche**

- **Sviluppo di nuovi sensori**
- **Sviluppo di metodi per analisi dati**

Attività svolta in stretta collaborazione con i ricercatori del Centro Ricerche Fiat

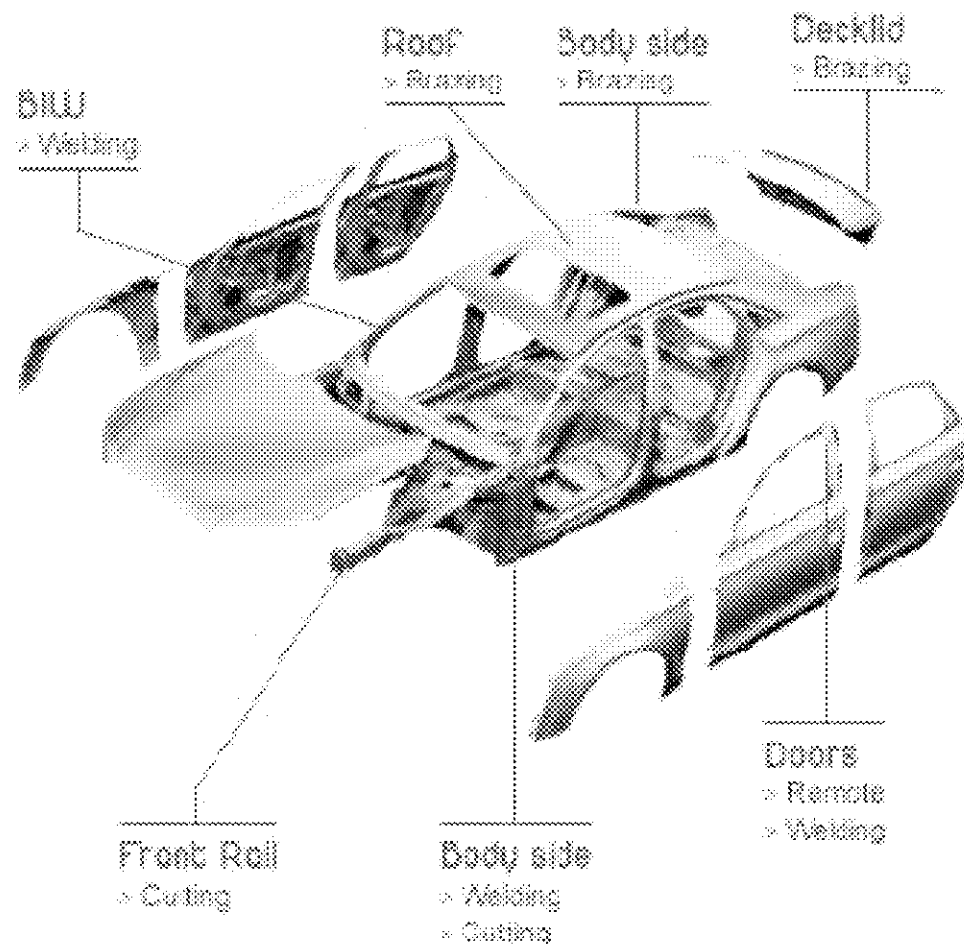


Impiegata ampiamente nell'assemblaggio delle carrozzerie
Importanza crescente rispetto ad altri metodi di saldatura più tradizionali,
quali ad esempio la saldatura ad arco e la saldatura resistiva



Vantaggi della saldatura laser

- incremento della velocità di processo (maggiore produttività, riduzione tempi-ciclo, riduzione della distorsione delle parti)
- Maggiore resistenza del giunto
- Riduzione della larghezza delle flange di unione (riduzione consumo materiale e pesi)
- Maggiore flessibilità (es. necessità di accesso da un solo lato)
- Miglior grado di finitura finale



In una singola carrozzeria si impiegano vari metri di saldatura laser continua (es. padiglione, pianale) e varie centinaia di saldature laser spot (es. portiere)



Problema del controllo qualità

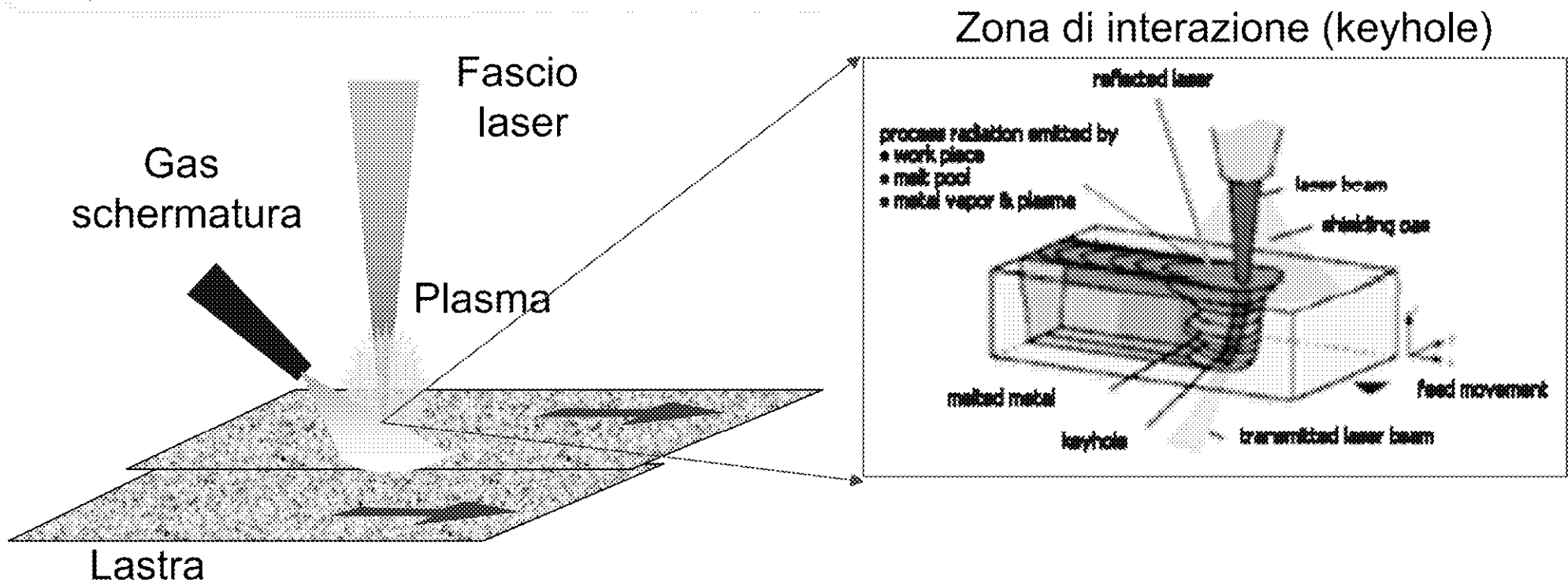
- Normalmente il controllo qualità sulle saldature viene effettuato a posteriori, a campione
- Spesso vengono impiegati controlli distruttivi (prove a fatica, sezioni)

Obbiettivi

- Sviluppo di sensori e tecniche di monitoraggio **in tempo reale** per il processo di saldatura, per l'individuazione di difetti nella saldatura ottenuta, con caratteristiche di:
 - Velocità di risposta (individuazione di difetti di piccola estensione)
 - Capacità di riconoscimento del tipo di difetto (per **feedback sul processo**)
 - Semplicità e robustezza (per applicazione in ambiente industriale)
- Miglioramento della qualità e sicurezza del prodotto
- Riduzione dello scarto (= costi)



Saldatura con laser a CO₂: il processo

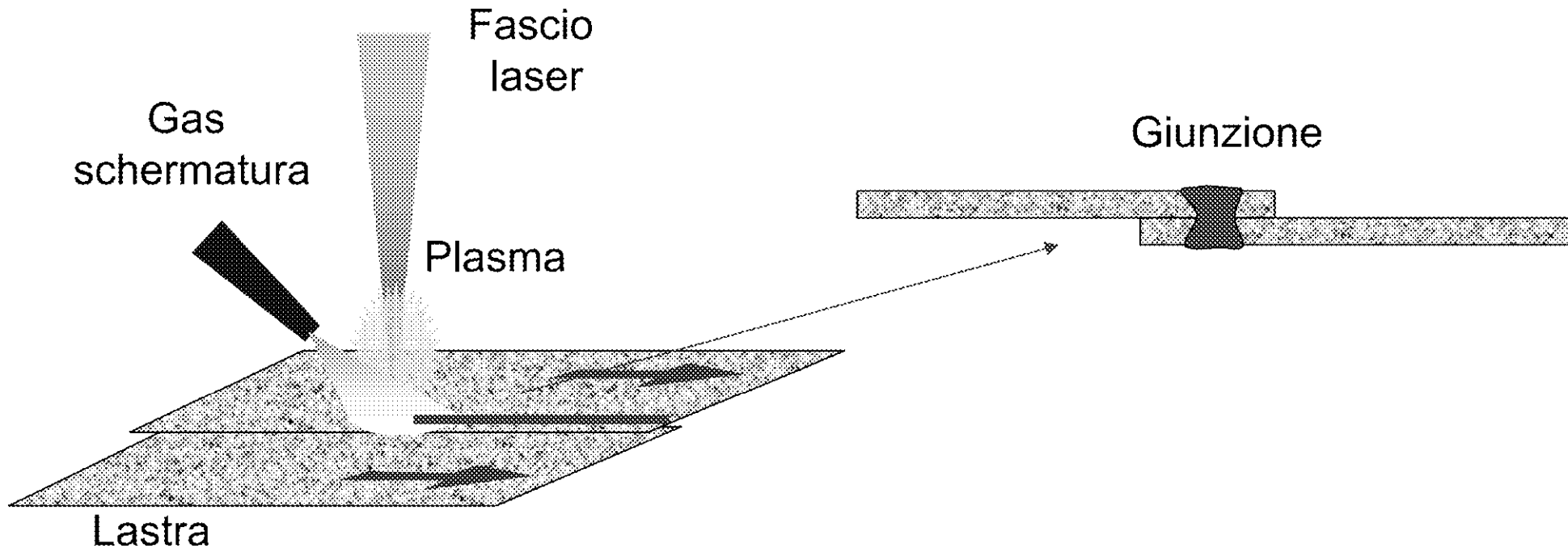


Lastre: es. acciaio con coating di Zn, con gap

Gas di schermatura: Ne, Ar, N₂

Fascio laser CO₂: potenza media (2-3 kW CW)

Velocità avanzamento: 1-3 m/min



Lastre: es. acciaio con coating di Zn, con gap

Gas di schermatura: Ne, Ar, N₂

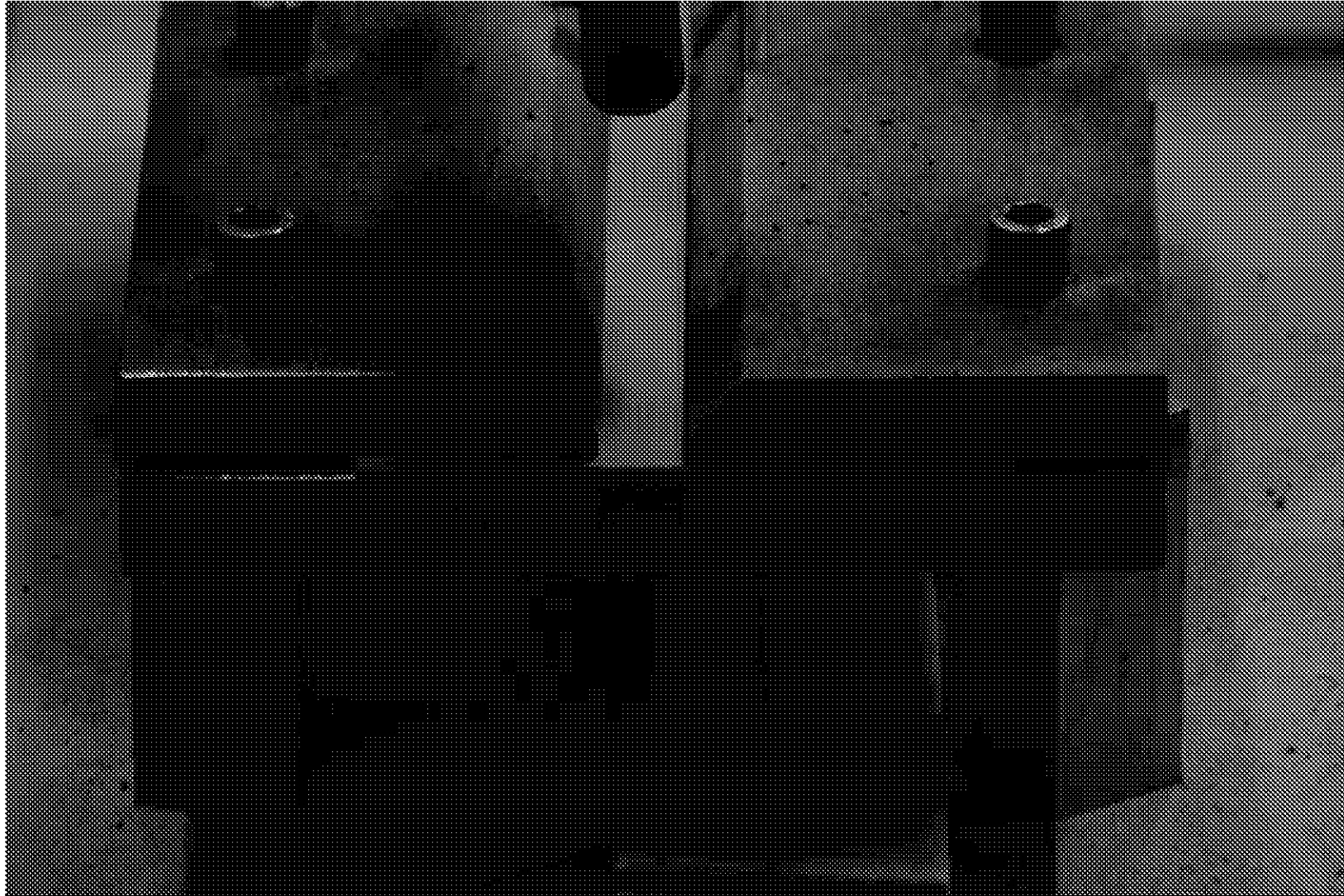
Fascio laser CO₂: potenza media 2-3 kW CW

Velocità avanzamento: 1-3 m/min



INO-CNR
ISTITUTO
NAZIONALE DI
OTTECA

Saldatura con laser a CO₂: il processo



Clickare per riprodurre il video

Guido Toci

INO-CNR

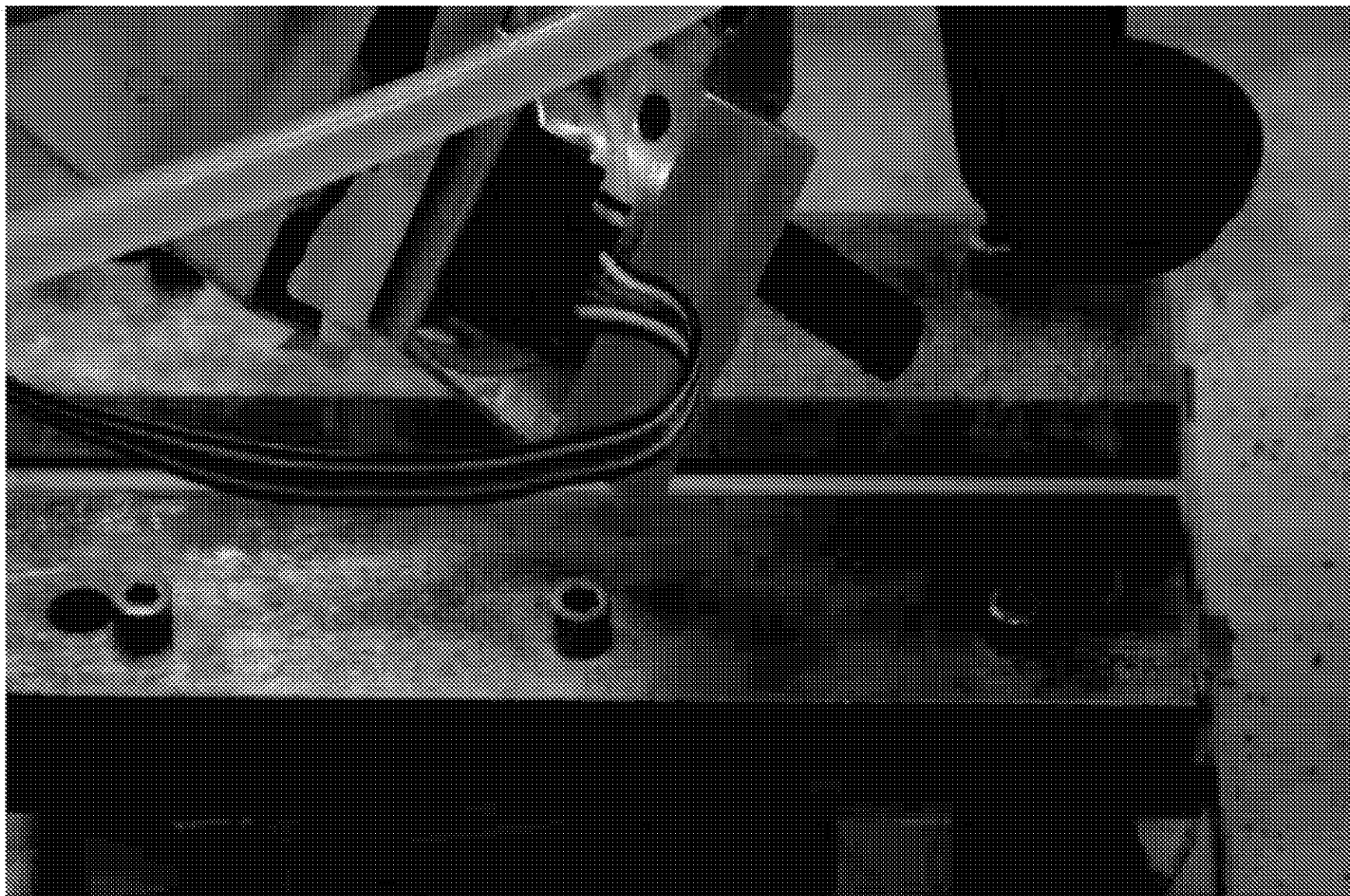
guido.toci@ino.it

www.ino.it



INO-CNR
ISTITUTO
Nazionale di
Ottica

Saldatura con laser a CO₂: il processo



Clickare per riprodurre il video

Guido Toci

INO-CNR

guido.toci@ino.it

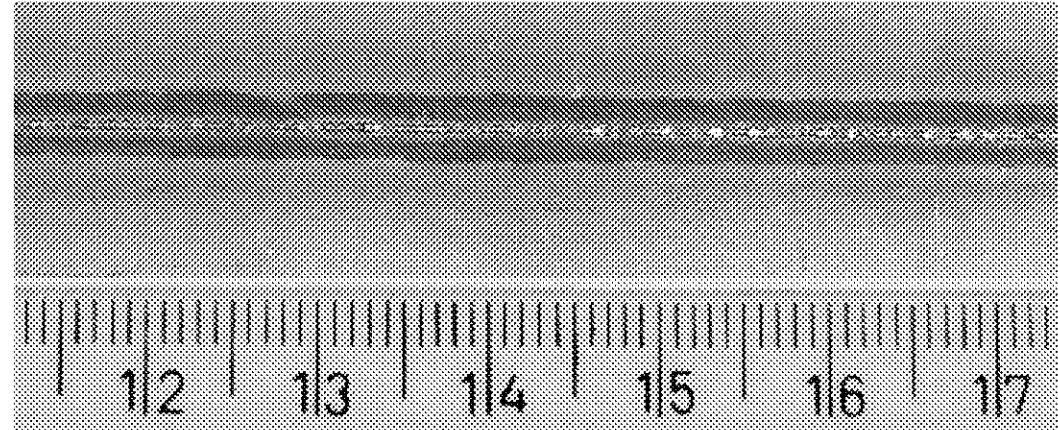
www.ino.it



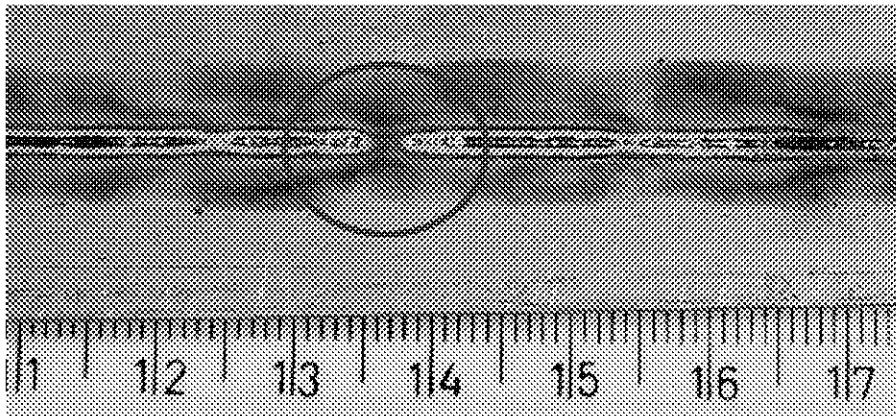
Parametri critici :

- Potenza del laser
- Velocità di spostamento
- Posizione del fuoco del fascio
- Gap tra le lastre
- Flusso del gas di schermatura

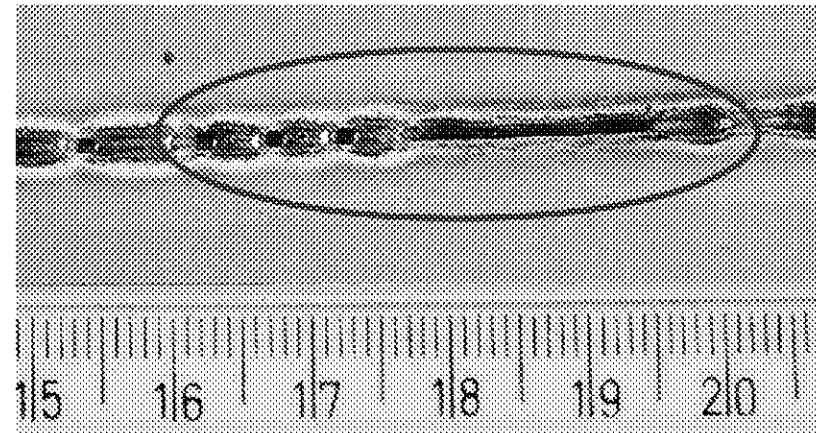
Saldatura ottimale: cordone uniforme e penetrante



Difetti tipici



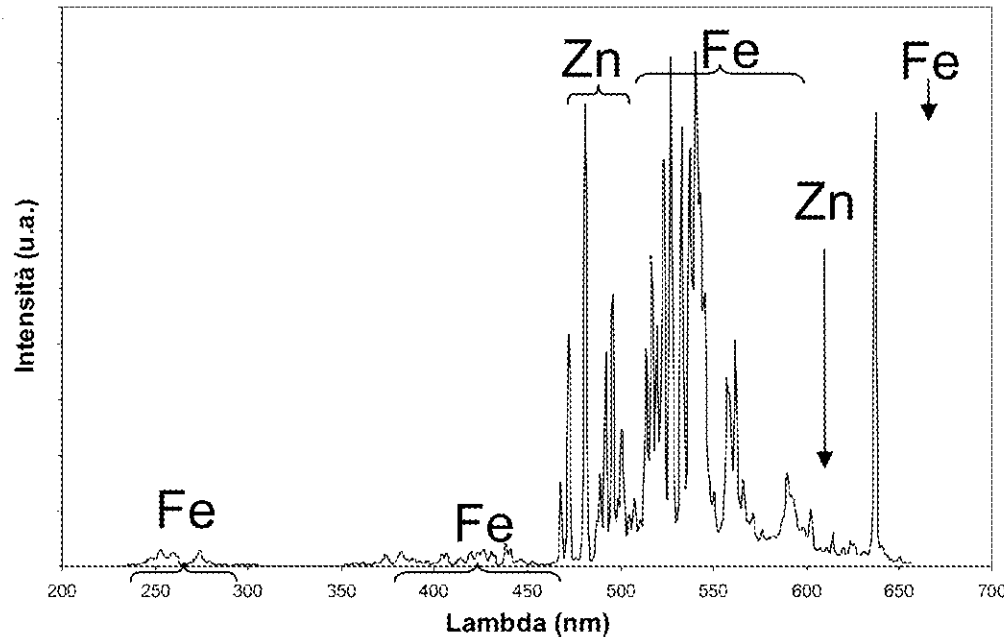
Insufficiente penetrazione
(mancata giunzione delle lastre)



“Soffiatura” (lacuna nel cordone di giunzione
per espulsione del materiale fuso)



Monitoraggio spettroscopico

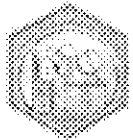


Spettro di emissione: intensità della luce emessa, in funzione della lunghezza d'onda

Lo spettro di emissione dipendente da vari parametri fisici e chimici in gioco:

- Concentrazione relativa elementi
- Livello di ionizzazione
- Densità del plasma (riassorbimenti)
- Temperatura del plasma

In linea di principio, lo spettro della luce emessa contiene molte informazioni sui parametri del processo

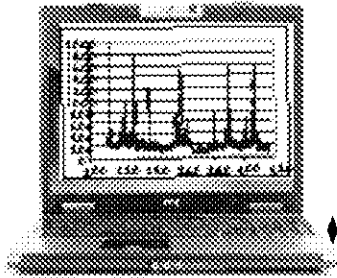


INO-CNR
ISTITUTO NAZIONALE
DI OTTICA

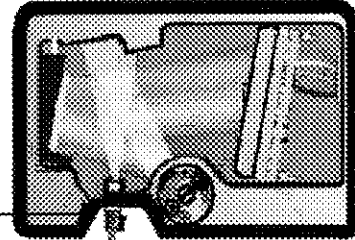
Allestimento sperimentale



Sistema spettroscopico



Registrazione dati



Sistema spettroscopico:

Spettrometro a reticolo

rivelatore CCD 3000 canali

Digitalizzazione 12 bit

risoluzione spettrale 0,6 nm

banda spettrale 250 – 650 nm

Velocità acquisizione spettri : 25 spettri/sec

Accoppiato a fibra ottica (testa della fibra alloggiata nell'ugello del gas di schermatura)

Fibra ottica



Ugello gas schermatura
e testa fibra ottica

Lastre

Foto Ing. Cisi

Sistema laser :

Laser a CO₂ El.En. Potenza max 2 kW

Ottiche focheggiamento **CRF**, f= 200 mm

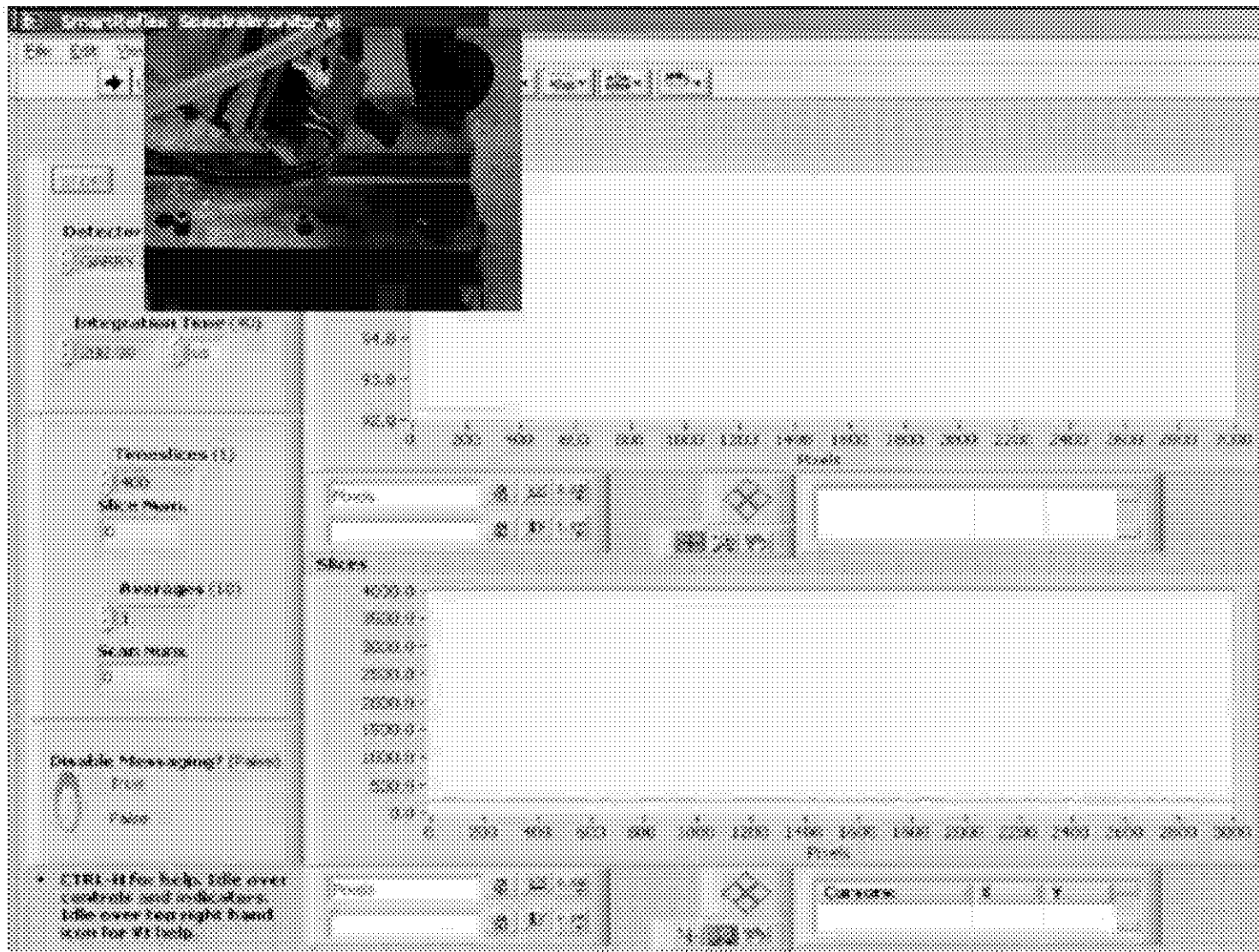
Gas di assistenza al processo : N₂

Velocità pezzo: 1-2 metri/min.

Provini: lamierino di acciaio zincato tipo FEP 04, spessore 0,7 mm



Monitoraggio spettroscopico



Cliccare per riprodurre il video



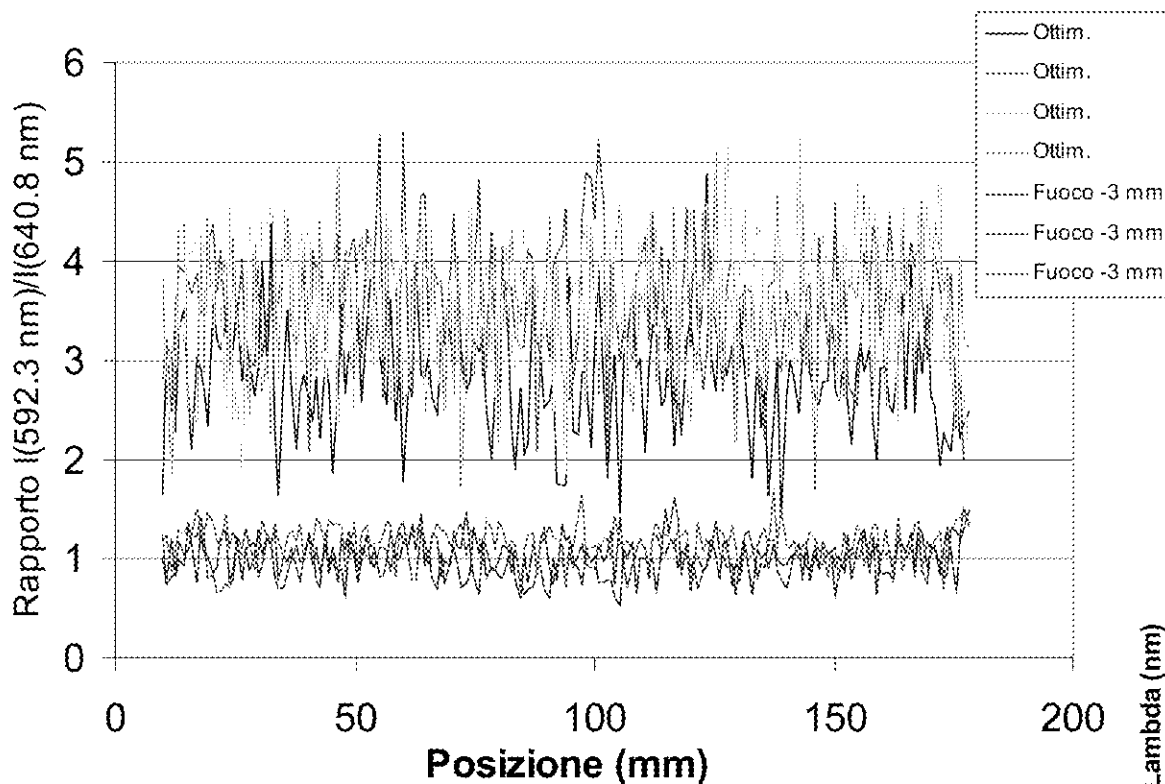
Estrazione delle informazioni:

In mancanza di un **modello** che lega il processo di saldatura e l'emissione del plasma, si procede per via fenomenologica, senza ipotesi a priori sulle relazioni tra spettro di emissione e caratteristiche del processo:

- 1) Acquisizione spettri ottenuti in condizioni di processo **ottimizzate**
- 2) Acquisizione spettri ottenuti con **alterazioni controllate** dei parametri, che possono indurre difetti, es:
 - Potenza laser
 - Velocità avanzamento
 - Gap tra le lastre
 - Laser fuori fuoco
 - Flusso gas schermatura
- 3) Analisi sistematica degli spettri per individuare le caratteristiche associate alle anomalie
- 4) Metodo di calcolo: rapporti di intensità del segnale a varie lunghezze d'onda

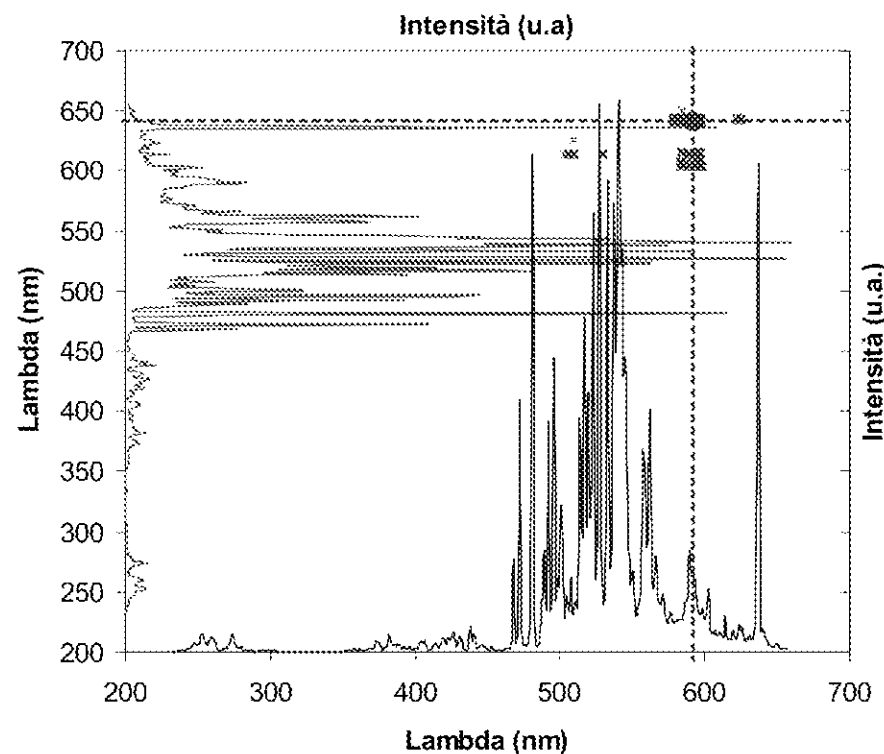


Esempio: discriminazione del fuori fuoco



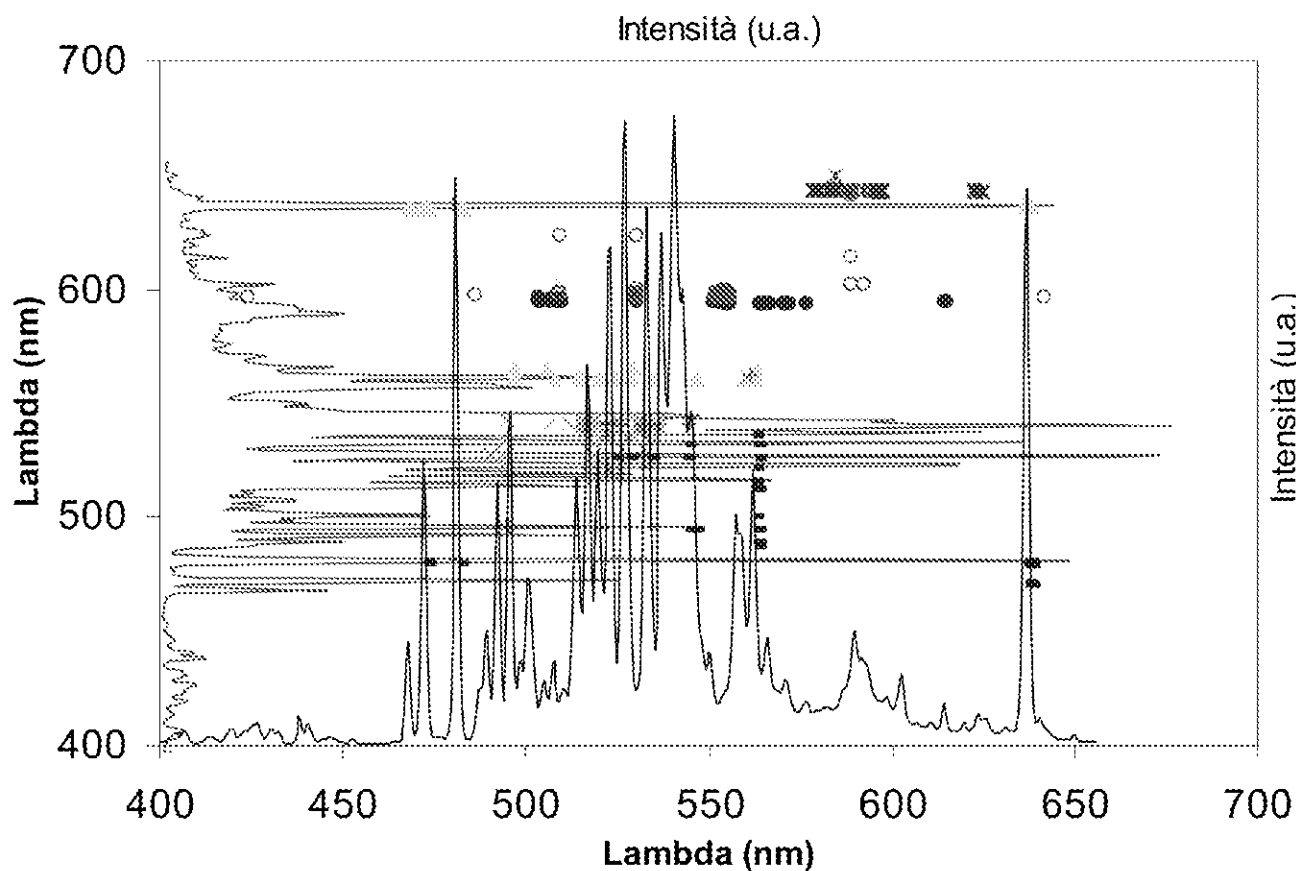
Rapporto segnale a 592.3 nm / segnale a
640.8 nm,
Condizioni ottimizzate vs. fuori fuoco -3 mm

Altre condizioni: potenza 2 kW, velocità 1,3 m/min.,
gas schermatura N₂ 5 lt/min, gap 0,2 mm





Posizione delle coppie di canali utili



Scostamento

Fuoco + 3 mm

Fuoco + 5 mm

Fuoco -3 mm

Gap 0.5 mm

No gas scherm.

V +0.7 m/min

V -0.6 m/min

Gas scherm. 3 l/min.

Gas scherm. 1 l/min.

P 1.3 kW

Selettività

**

**

**

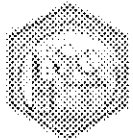
*

*

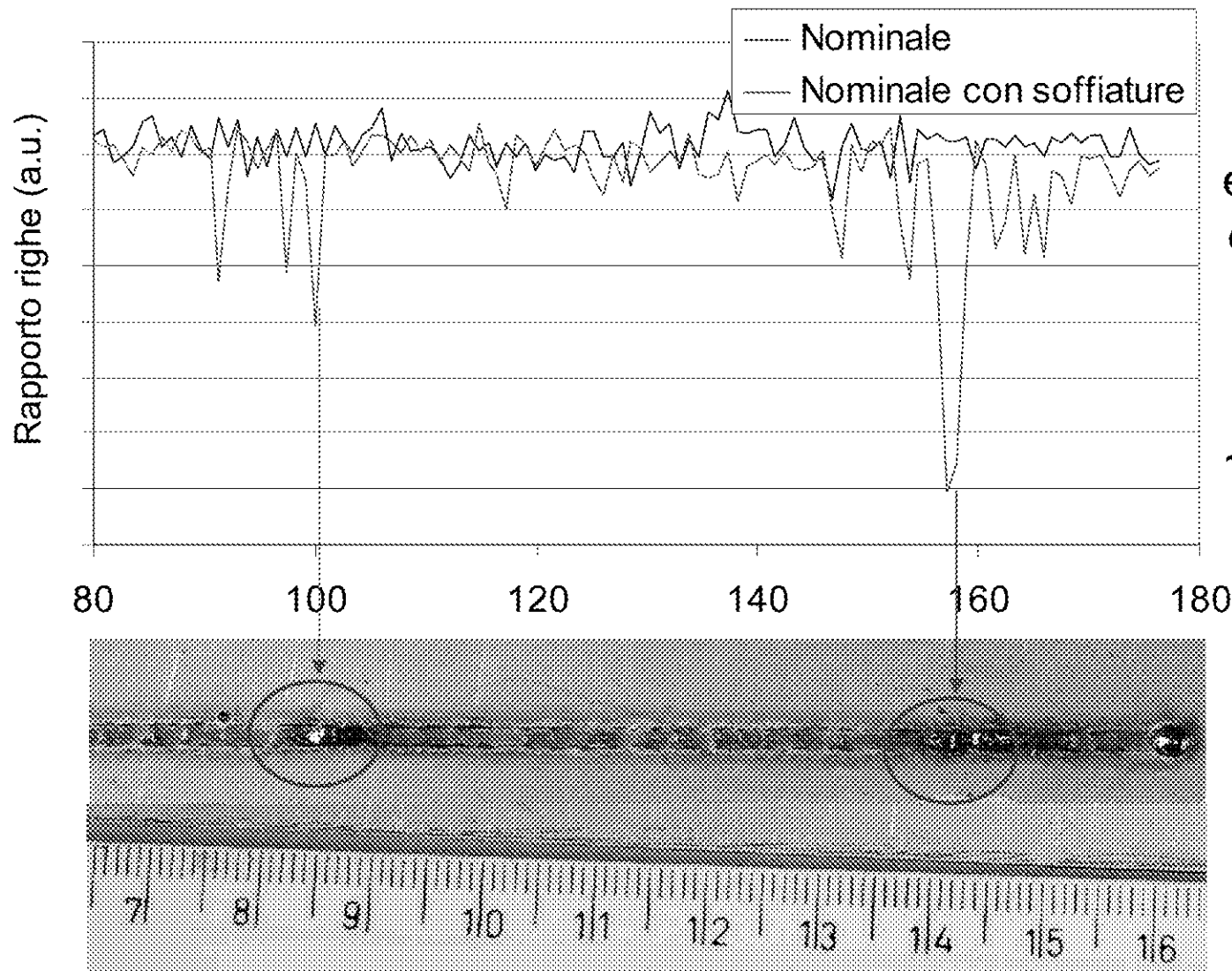
*

*

- Gap 0.5 mm
- Fuoco + 3 mm
- Fuoco +5 mm
- × Gap 0 mm
- + V +0.7 m/min
- * No gas
- * Fuoco - 3 mm



Individuazione difetti localizzati

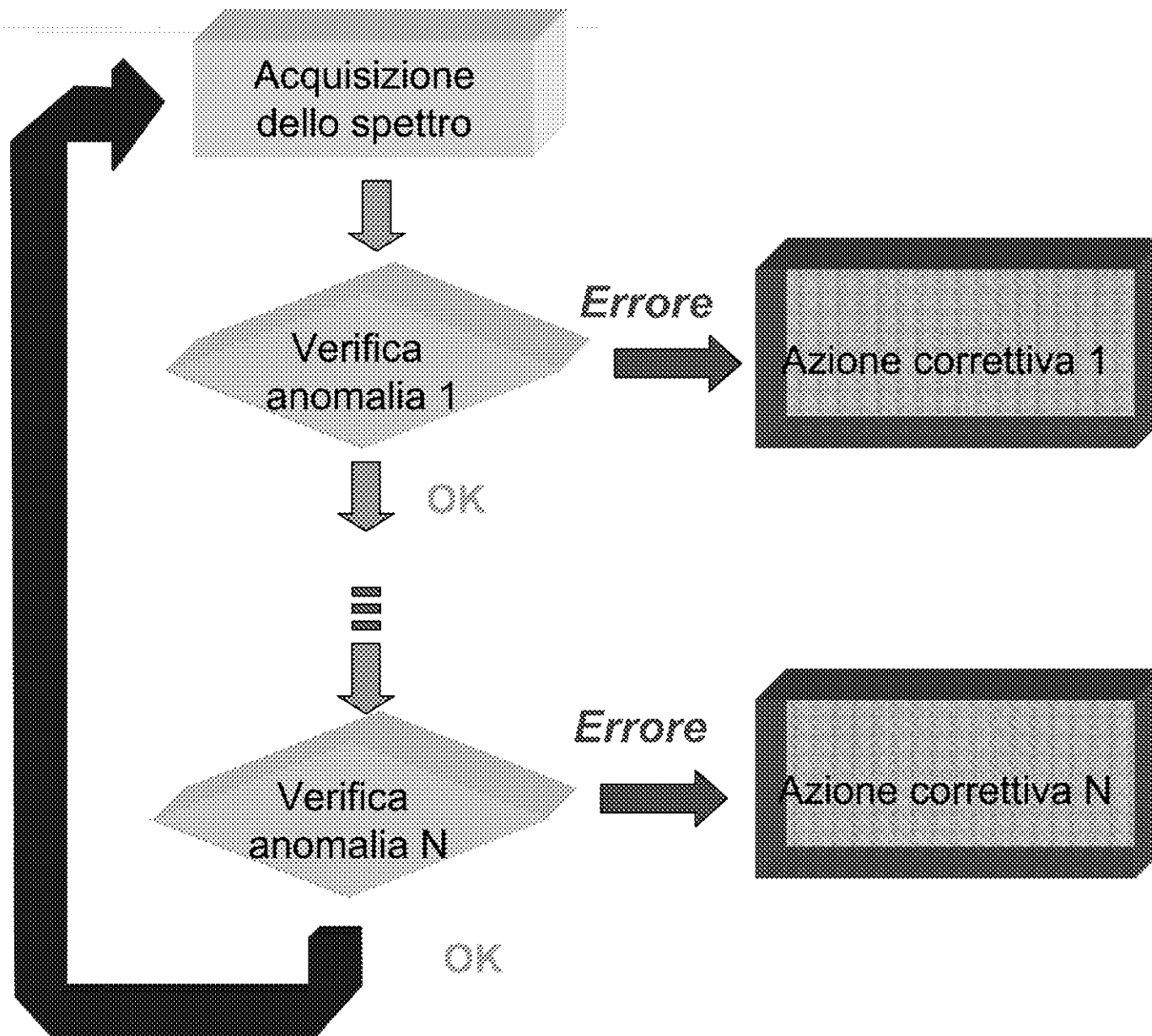


Esempio: saldatura
effettuata in condizioni
ottimali, con soffiature
localizzate

Risoluzione spaziale
~0.9 mm @ 1.3 m/min



Monitoraggio del processo





Ricapitolando...



- 1) Il metodo di monitoraggio si basa sull'analisi dell'emissione di luce durante la saldatura (spettroscopia)
- 2) E' in due fasi:
 - **apprendimento** (acquisizione dei segnali con anomalie di processo controllate) ed **analisi** per l'estrazione dell'informazione
 - **monitoraggio del processo** vero e proprio (usando le informazioni precedentemente acquisite)
- 3) Fornisce informazioni non solo sulla **presenza** del difetto, ma anche sulla **causa** che lo ha provocato
- 4) Ha tempi di risposta rapidi (individuazione precoce delle anomalie)
- 5) L'informazione può essere usata per **correggere in tempo reale** l'anomalia, minimizzando la difettosità (feedback al sistema di saldatura).



Altre applicazioni



Lavorazioni e costruzioni meccaniche in cui siano coinvolti processi di saldatura

- 1) Saldatura laser su altre tipologie di materiali (es. leghe di alluminio)
- 2) Altre tecnologie di saldatura, purchè accompagnate da emissione luminosa dovuta la plasma (es. saldatura ad arco)



INO-CNR
Istituto Nazionale
di Ottica

Settori di collaborazione con imprese



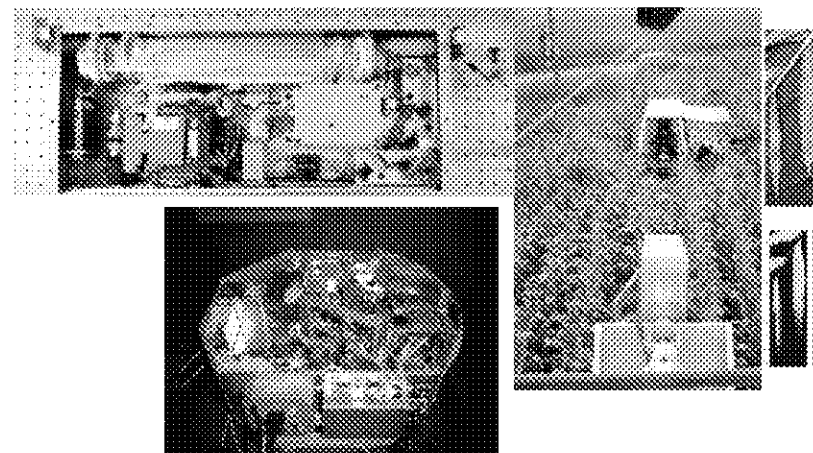
Ricerca industriale, trasferimento tecnologico, certificazione

Sviluppo di strumentazione ottica

Spettrometri passivi

Spettrometri laser per misure di gas in tracce

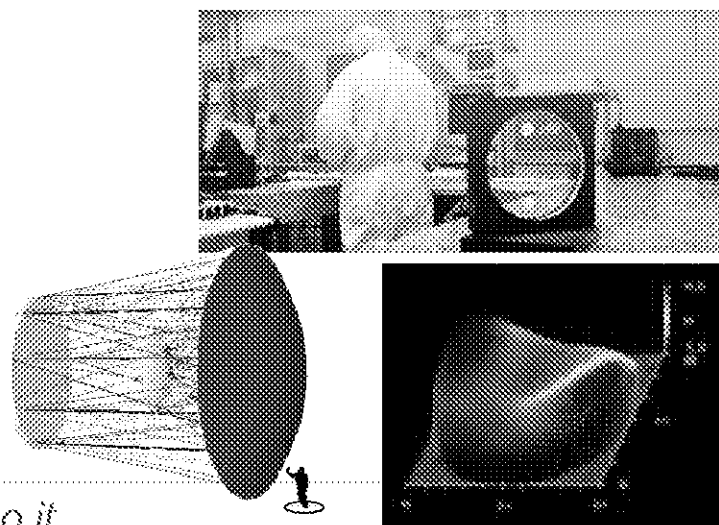
Sensori per misure remote (LIDAR)



Progettazione e test di sistemi ottici

Calibrazioni fotometriche e radiometriche

Test di qualità su superfici ottiche





INO-CNR
Istituto Nazionale
di Ottica

Settori di collaborazione con imprese

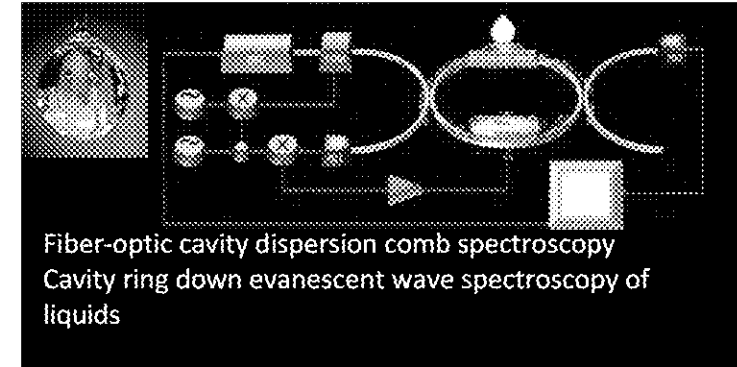


Sensori per monitoraggio strutturale, test non distruttivi, monitoraggio di processo

Olografia, interferometria

Sensori in fibra ottica per vari parametri fisici
(temperatura, vibrazioni, stress)

Sensori chimici

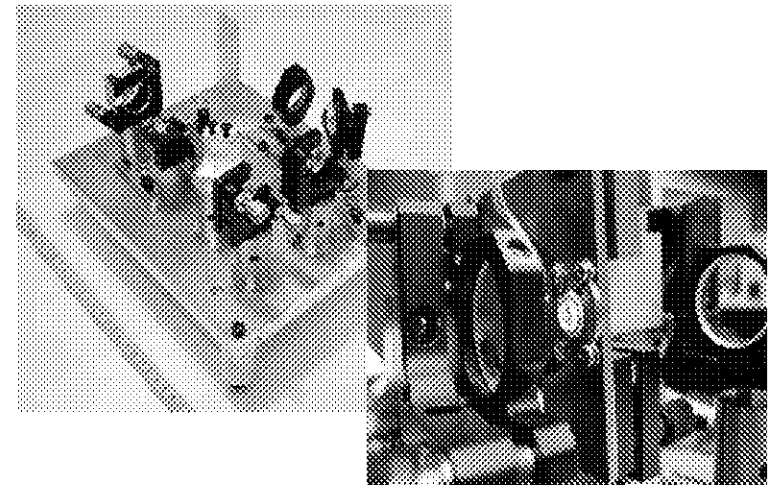


Sistemi laser per applicazioni industriali, aerospaziali e di monitoraggio

Laser a stato solido

Laser a semiconduttore

Microlaser



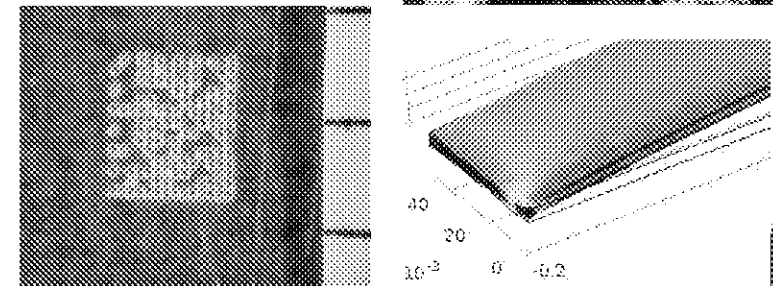
Analisi e modellistica di processi di trattamento laser

Taglio laser

Micromarcatura

Saldatura

Trattamenti superficiali





INO-CNR
Istituto Nazionale
di Ottica



Grazie per l'attenzione

Guido Toci

INO-CNR

guido.toci@ino.it

www.ino.it