



E DELLA RICERCA

Programmi di ricerca cofinanziati - Modello D
Rendiconto del programma di ricerca - ANNO 2005
prot. 2005098724

1. Area Scientifico Disciplinare principale	<i>09: Ingegneria industriale e dell'informazione</i>
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	<i>FICARELLA Antonio</i>
- Università	<i>Università degli Studi del SALENTO</i>
- Facoltà	<i>Facoltà di INGEGNERIA</i>
- Dipartimento/Istituto	<i>Dip. INGEGNERIA DELL'INNOVAZIONE</i>
3. Titolo del programma di ricerca	<i>Controllo Cycle-Resolved delle Emissioni nei Motori a Combustione Interna Mediante un Innovativo Sensore Ottico</i>
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	<i>ING-IND/09</i>
5. Costo originale del Programma:	<i>142.700 Euro</i>
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	<i>44.000 Euro</i>
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	<i>18.858 Euro</i>
8. Finanziamento totale:	<i>62.858 Euro</i>
9. Durata:	<i>24 mesi</i>

10. Obiettivo della ricerca eseguita

L'obiettivo del presente programma di ricerca è di sviluppare un sensore di gas di tipo innovativo operante ad alta temperatura e velocità di risposta per la misura cycle-resolved delle emissioni di NOx e CO nei motori a combustione interna. Tale misura effettuata in tempo reale ed a valle del sistema di scarico permetterà il controllo retroazionato dei parametri del processo di combustione e il loro adeguamento.

Il controllo di parametri quali la pressione di iniezione, il numero delle iniezioni per ciclo ed il loro posizionamento, il livello di EGR permetterà di ottimizzare, anche in regime transitorio, il consumo di carburante e le emissioni, consentendo inoltre di individuare e compensare velocemente possibili perdite di prestazioni dovute all'usura o malfunzionamento di componenti del propulsore.

Per raggiungere tali obiettivi, il programma di ricerca prevede lo sviluppo di un prototipo di sensore in cui l'elemento sensibile sarà un rivelatore ottico operante nell'ultravioletto. Il fotorivelatore sarà basato su nitruro di gallio (GaN) e suoi composti e sarà in grado di operare alle alte temperature con alta velocità di risposta. Tale elemento sensibile sarà integrato entro un dispositivo attraverso cui circolerà il flusso dei gas combusti e sarà affacciato ad una sorgente luminosa che emetta nella regione spettrale dell'UV. Il prototipo sarà infine dotato di un sistema di controllo motore in grado di sfruttare il segnale del sensore.

Il principio di funzionamento del prototipo oggetto del presente programma di ricerca è infatti basato sulla variazione dell'intensità della radiazione ultravioletta irraggiata su un rivelatore ottico per effetto dell'assorbimento e/o emissione da parte dei gas combusti al variare della loro concentrazione. Tale effetto, già noto in letteratura, coinvolge transizioni elettroniche all'interno dei gas sotto analisi dovute all'eccitazione per effetto di una lampada ad arco voltaico o per assorbimento della luce.

L'utilizzo del nitruro di gallio risolve i due principali problemi che hanno impedito l'uso di sensori per la rilevazione delle emissioni in campo automobilistico per controlli cycle-resolved:

- lo sporcamento del sensore a seguito della deposizione di particelle di carbonio e di altre sostanze organiche provenienti dal combustibile in uso e dagli oli necessari per la lubrificazione.

- La scarsa velocità di risposta

Lo sporcamento dei sensori ha impedito l'uso di tecnologie ottiche di tipo compatto per la rivelazione di gas a causa della scarsa resistenza dei semiconduttori tradizionali alle temperature. Sensori di tipo non-ottico d'altra parte non sono intrinsecamente veloci e quindi idonei alla rivelazione ciclo per ciclo della concentrazione dei gas combusti. La principale novità del sistema proposto consiste proprio nel poter sfruttare le proprietà di resistenza alla temperatura ed agli ambienti aggressivi del nitruro di gallio che consentono di lavorare a temperature di esercizio superiore a quella di ossidazione del carbonio e delle altre sostanze organiche presenti nei gas di scarico, impedendo così lo sporcamento del sensore stesso. L'uso di una sorgente UV ad arco voltaico fra due elettrodi opportunamente posizionati rispetto al sensore permetterà di evitare anche lo sporcamento della lampada.

Il progetto vedrà dunque la realizzazione del prototipo a partire dalla sintesi dei materiali attivi del fotorivelatore alla fabbricazione nano e microtecnologica del dispositivo. In parallelo sarà progettato e costruito un opportuno packaging che ne consenta la facile installazione nei condotti di scarico di un motore alternativo ed un rapido collegamento con la parte di alimentazione, controllo e acquisizione del segnale.

Infine, nell'ambito del progetto si svilupperà un sistema di controllo motore in grado di utilizzare il segnale del sensore per effettuare un controllo cycle-resolved del motore. Il sistema di controllo del motore sarà diviso in due sezioni, una logica e l'altra di potenza. La prima è deputata all'acquisizione dei segnali dai sensori installati sul motore e alla generazione dei segnali necessari alla regolazione del sistema di iniezione e del motore. Tale sezione sarà realizzata utilizzando moduli FPGA ad alta velocità. La parte di potenza, verrà effettuata mediante la realizzazione di opportuni moduli in grado di pilotare gli attuatori dei vari sistemi che si intende regolare.

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

L'obiettivo di questo progetto è stato lo sviluppo di un innovativo sistema per la misura delle emissioni di NOx e CO nei motori a combustione interna. Il sistema si basa principalmente su un elemento sensibile a base di nitruro di gallio e alluminio (AlxGa1-xN) in grado di rilevare la variazione dello spettro UV emesso da una sorgente luminosa al variare della concentrazione dei gas. La sorgente in esame è una lampada ad arco che permette di eccitare le molecole di gas con cui viene a contatto, senza essere particolarmente sporcata o danneggiata dalle condizioni gravose in cui dovrà lavorare. Per il sensore e la sorgente luminosa è stato studiato un opportuno packaging che ne ha consentito sia la facile installazione nel condotto di scarico di un motore alternativo che un rapido collegamento con la parte di controllo e acquisizione del segnale.

L'elemento sensibile è costituito da un dispositivo fotorivelatore metallo-semiconduttore-metallo (MSM) realizzato mediante due contatti interdigitati di tipo Schottky depositati su uno strato di semiconduttore intrinseco. Per consentire alla regione attiva del dispositivo di essere sempre pulita è stato progettato un sistema microriscaldatore, integrato con il dispositivo fotorivelatore, grazie al quale, per mezzo di improvvisi aumenti di temperatura, è possibile far desorbire eventuali particelle depositatesi sull'elemento sensibile durante il normale funzionamento. Il riscaldatore integrato sfrutta l'effetto Joule in base al quale un conduttore percorso da corrente elettrica si riscalda. La temperatura raggiunta dal riscaldatore è fortemente dipendente dalla resistenza elettrica R del metallo, che a sua volta dipende dalla geometria del riscaldatore e dalla resistività elettrica del metallo stesso. Di conseguenza, il raggiungimento di una determinata temperatura è strettamente correlato al disegno del riscaldatore.

Il materiale semiconduttore (leghe $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$) utilizzato per il fotorivelatore è stato cresciuto epitassialmente su un substrato di zaffiro mediante deposizione chimica in fase vapore da composti metallo-organici (MOCVD, dall'inglese Metal-Organic Chemical Vapour Deposition). In tale sistema, gli elementi metallici (gallio e alluminio) sono introdotti sotto forma di precursori metallorganici (rispettivamente trimetilgallio ($\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ e trimetilalluminio ($\text{CH}_3)_3\text{Al}$) attraverso un gas di trasporto (idrogeno o azoto). Allo stesso tempo, l'apporto di azoto avviene da sorgente di ammoniaca (NH_3). Il sistema MOCVD è ampiamente utilizzato nella fabbricazione di materiali semiconduttori, permettendo un controllo dello spessore e della composizione dei materiali dell'ordine del singolo strato atomico, e dando la possibilità di depositare materiali cristallini di alta qualità. Sia per realizzare il sensore MSM che il riscaldatore si è poi proceduto alle fasi di fabbricazione dell'elemento sensibile mediante litografia ottica, deposizione dei metalli e lift-off, o, in alternativa, attacco selettivo. I film metallici sono stati depositati tramite: evaporazione termica, evaporazione da fascio elettronico e sputtering. L'attacco selettivo del metallo in eccesso avviene attraverso l'uso di reagenti chimici sia in fase liquida che gassosa.

L'uso di leghe $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ previsto in questo progetto, permette di variare con continuità la banda proibita del materiale semiconduttore (E_g) attraverso una precisa modulazione della frazione x di alluminio. Passando da $E_g = 3.4$ eV del GaN ad $E_g = 6.2$ eV dell'AlN (E_g) si può quindi variare il limite della regione spettrale assorbita tra i 200 ed i 365 nm. Durante il progetto sono stati realizzati campioni di $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ a diversa concentrazione x di alluminio. In particolare, per x uguale a 0 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 si è trovata una lunghezza d'onda di taglio superiore pari rispettivamente a 360nm - 340nm - 320nm - 300nm - 260nm. Oltre ad un fine controllo dello spessore e della composizione del materiale cresciuto, i campioni realizzati mostrano una buona qualità cristallina confermata anche da una ridotta rugosità superficiale (< 0.2 nm) e da una bassa densità di difetti.

Come descritto, il riscaldatore utilizzato per la pulizia del sensore è un conduttore metallico. La geometria del riscaldatore è stata progettata in funzione del valore di resistenza necessario, dell'ingombro massimo desiderato e della conduttività termica del metallo utilizzato.

I principali metalli studiati in questo progetto sono stati: platino, cromo/oro e tungsteno. In particolare, la deposizione per sputtering del tungsteno su questo tipo di materiali semiconduttori ha rappresentato un aspetto innovativo che è stato necessario ottimizzare. Per quanto riguarda l'utilizzo del tungsteno, si è riusciti ad ottenere un film di metallo con buone proprietà cristalline (rugosità superficiale di circa 1,2 nm) e meccaniche (buona adesione del metallo allo strato di materiale semiconduttore ed elevata durezza); inoltre, i riscaldatori realizzati presentano profili netti e puliti.

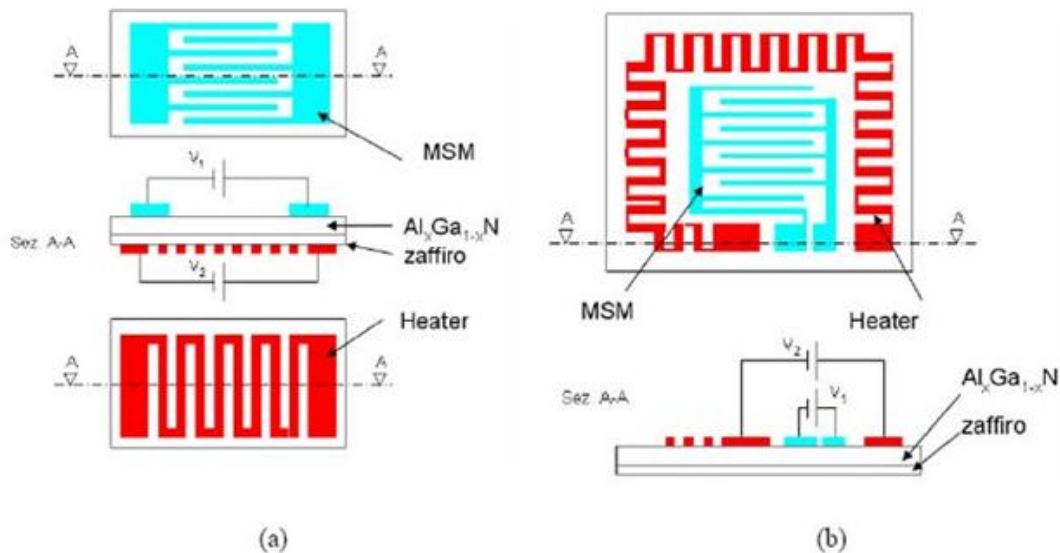


Figura 1: Rappresentazione delle possibili configurazioni del sensore. (a) Dispositivo sul lato frontale e riscaldatore sul lato posteriore. (b) Dispositivo e riscaldatore sul lato frontale

Le configurazioni valutate per l'accoppiamento del dispositivo e del riscaldatore sono due (come riportato in Figura 1). La prima configurazione (Figura 1a) prevede che il dispositivo venga realizzato sullo strato di materiale semiconduttore attivo, mentre il riscaldatore venga realizzato sul lato opposto del substrato. Questa configurazione, quindi, dà la possibilità di poter completamente svincolare il processo di fabbricazione del sensore da quello del riscaldatore, fattore importante nel caso in cui si decida di realizzare i due elementi con metalli e spessori differenti. Inoltre il riscaldatore, allineato verticalmente con il dispositivo, garantisce una migliore uniformità di temperatura sulla regione attiva del sensore. Uno svantaggio di questa configurazione è, però, la difficoltà di contattare elettricamente entrambi gli elementi. La seconda configurazione (Figura 1b) è stata pensata nell'ambito di questo progetto e prevede che sia il dispositivo MSM che il riscaldatore siano realizzati sullo strato di materiale semiconduttore attivo, con il riscaldatore disposto intorno al dispositivo. Tale geometria presenta alcuni vantaggi importanti come la possibilità di fabbricare con unico processo sia il dispositivo che il riscaldatore (nel caso di uguali metalli e spessori) e la facilità nel realizzare la contattatura di entrambi gli elementi. Di contro una tale geometria del riscaldatore potrebbe non garantire una temperatura uniforme sulla regione attiva del sensore.

Oltre al processo di deposizione è stato necessario ottimizzare anche il processo di attacco del tungsteno. I dispositivi, collocati su un supporto, sono stati contattati mediante micromanipolatori collegati a un generatore di tensione. Sulla serpentina del dispositivo contattato è stato posto un misuratore di temperatura. I valori ottenuti sono riportati in Figura 2b.

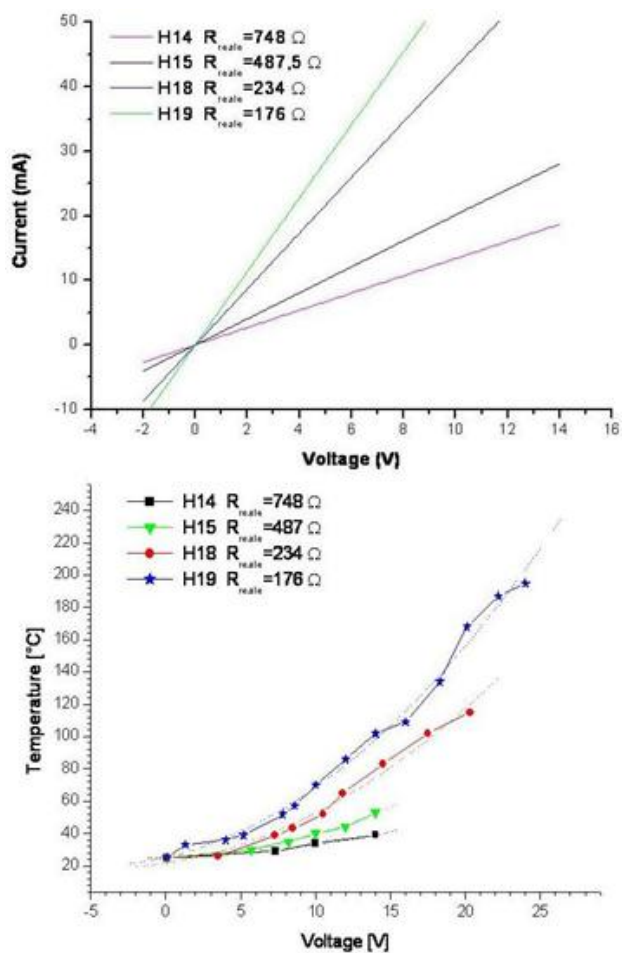


Figura 2 - Valori di resistenza (a) e temperature (b) ottenute con riscaldatori in tungsteno

Il valore di temperatura che si ottiene è proporzionale alla potenza termica ($P=R \cdot I^2$) pertanto, l'andamento quadratico della temperatura con la tensione applicata, è teoricamente corretto. L'utilizzo del tungsteno ha dato buoni risultati in quanto oltre ad ottenere le geometrie previste si è riusciti a raggiungere temperature di 300°C (Figura 3).

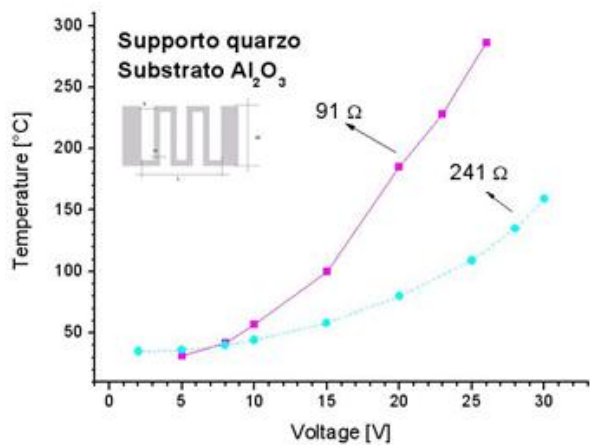


Figura 3 - Valori di temperatura ottenute con riscaldatori aventi differente resistenza.

Ai fini di una completa caratterizzazione, il valore di temperatura misurato è stato determinato utilizzando tre supporti differenti (Figura 4).

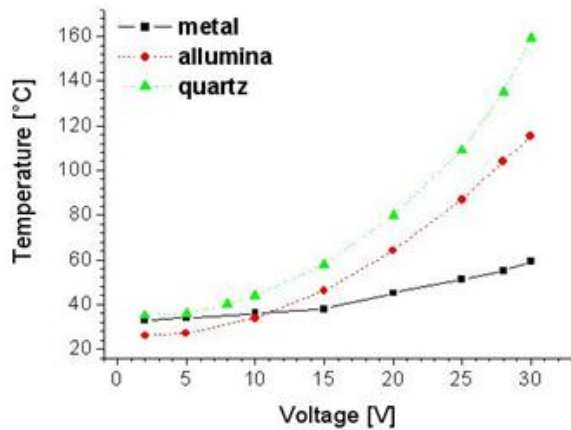


Figura 4 - Valori di temperature ottenute con lo stesso riscaldatori in tungsteno su zaffiro ma con supporti differenti (metallo, allumina e quarzo).

Successivamente, considerando la geometria proposta in Figura 1b, sono state fatte delle prove sperimentali, utilizzando il quarzo come substrato, per verificare che il cambio nella geometria non comportasse modifiche sostanziali nella distribuzione di calore ottenuta così come predetto dalle simulazioni termiche effettuate mediante il codice RadTherm.

I risultati sperimentali sono riportati in Figura 5 e mostrano come non ci siano sostanziali differenze tra una geometria e l'altra.

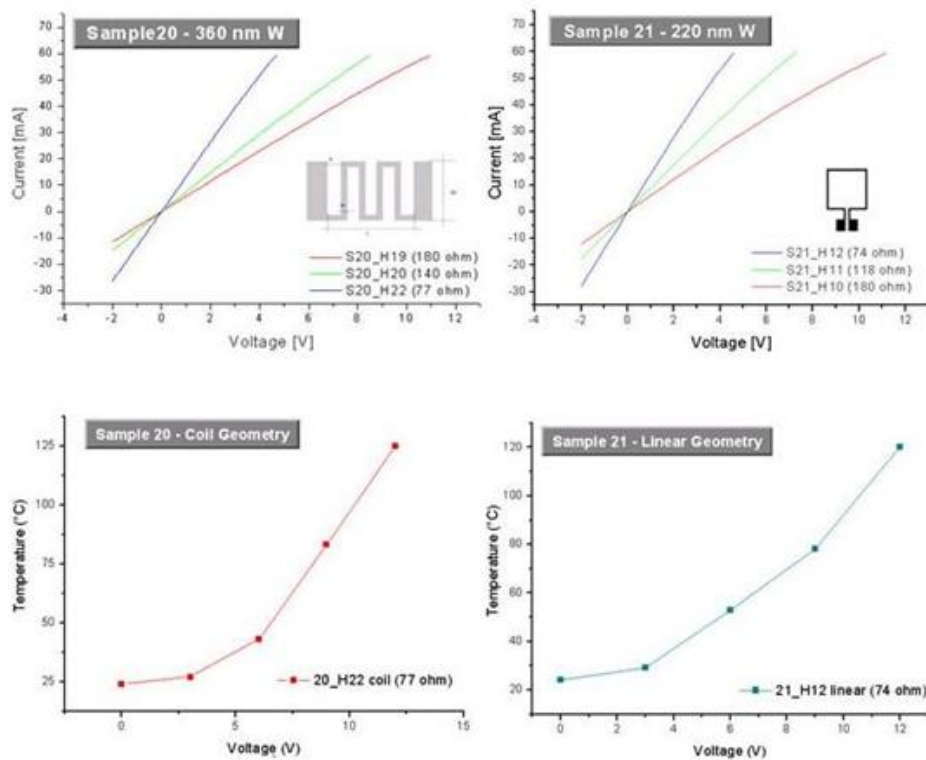


Figura 5 - Valori di resistenza (a) e temperature (b) ottenute con riscaldatori in tungsteno

Quindi, considerando la geometria proposta in Figura 1b, è stata progettata una nuova maschera riportante il dispositivo con il riscaldatore.

Il dispositivo così realizzato è stato quindi montato su un supporto T8 ed installato sul condotto di scarico del motore monocilindro AVL del Laboratorio di Macchine dell'Università del Salento così come indicato in Figura 6.

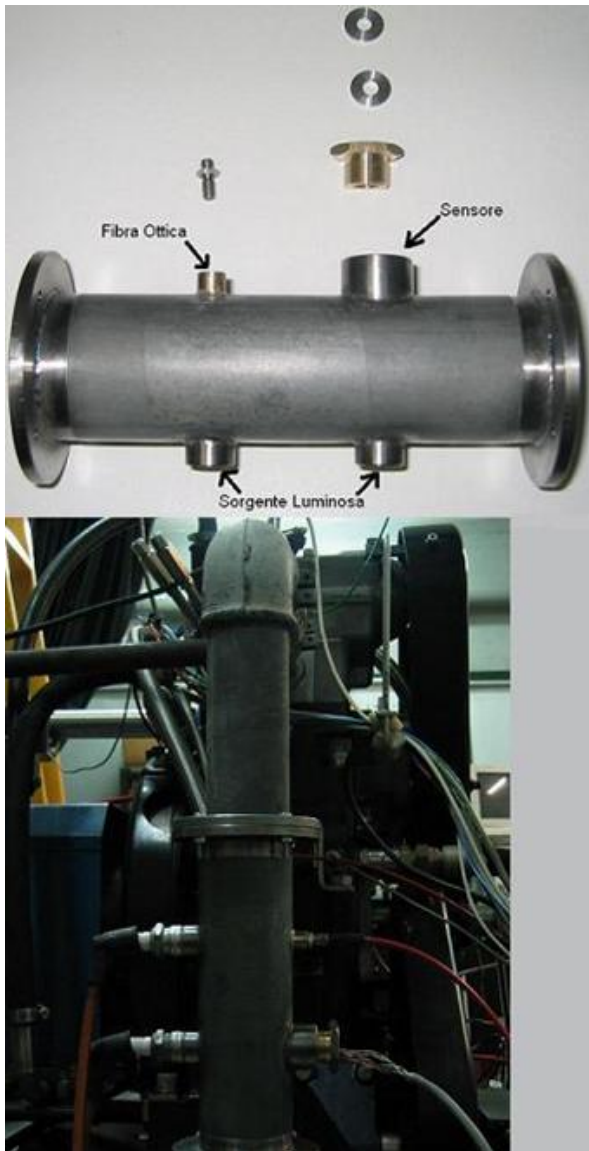


Figura 6 - Foto dell'adattatore a) e del dispositivo b) montato sul monocilindro da ricerca.

I processi per la realizzazione dei dispositivi MSM sono analoghi a quelli previsti per il riscaldatore; la differenza è legata alle ridotte dimensioni da riprodurre e quindi ad una maggiore complessità delle procedure di fabbricazione. I parametri fondamentali di cui tenere conto nella fabbricazione di un MSM sono l'interspaziatura e la lunghezza dei "finger". Per valutare sperimentalmente quale possa essere la migliore geometria è stata realizzata una maschera per litografia ottica riportante più aree ottiche di lato $L \times L$, con $L = 0.5 \text{ mm}$ e 1 mm . Per ogni superficie attiva $L \times L$ sono presenti 4 valori di interspaziatura, pari a $2 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$. Inoltre nell'intorno di ogni dispositivo MSM è stato disegnato un idoneo riscaldatore. Al fine di procedere ad una precisa analisi dei risultati ottenuti, sono stati realizzati dei campioni preliminari di dispositivi MSM in cromo/oro e successivamente si è usato il tungsteno. In Figura 7 è riportata l'immagine al microscopio ottico di un dispositivo realizzato. Si osserva il dispositivo MSM e nell'intorno il conduttore metallico che funge da riscaldatore.

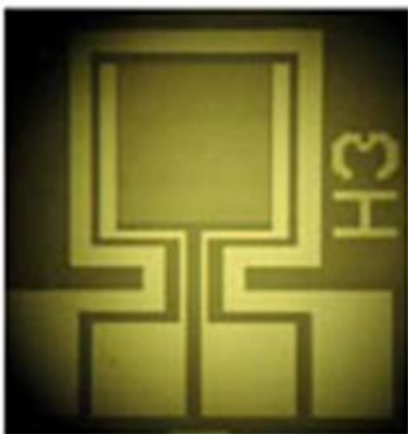


Figura 7: l'immagine al microscopio ottico di un dispositivo realizzato

I dispositivi realizzati sono stati caratterizzati sia elettricamente che otticamente mediante laser He-Cd ($\lambda = 325 \text{ nm}$) o lampada al mercurio. Si riportano in Figura 8 i

risultati ottenuti con dispositivi MSM su GaN e su AlGaN. Come si osserva, i valori di fotocorrente (corrente misurata in presenza di sorgente luminosa) sono notevolmente più alti della corrente di buio (corrente misurata in assenza di sorgente luminosa). Inoltre, in linea con i dati teorici, la corrente è più alta nel caso di dispositivi con interspaziature minori. Inoltre, i valori di corrente misurati con dispositivi su GaN sono più alti di quelli misurati su AlGaN in conseguenza della più elevata barriera Schottky. I dispositivi MSM su $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{N}$ sono stati caratterizzati otticamente solo tramite la lampada al mercurio, poiché la lunghezza d'onda di taglio di questo materiale (300 nm) è al di sotto della linea del laser He-Cd disponibile in laboratorio.

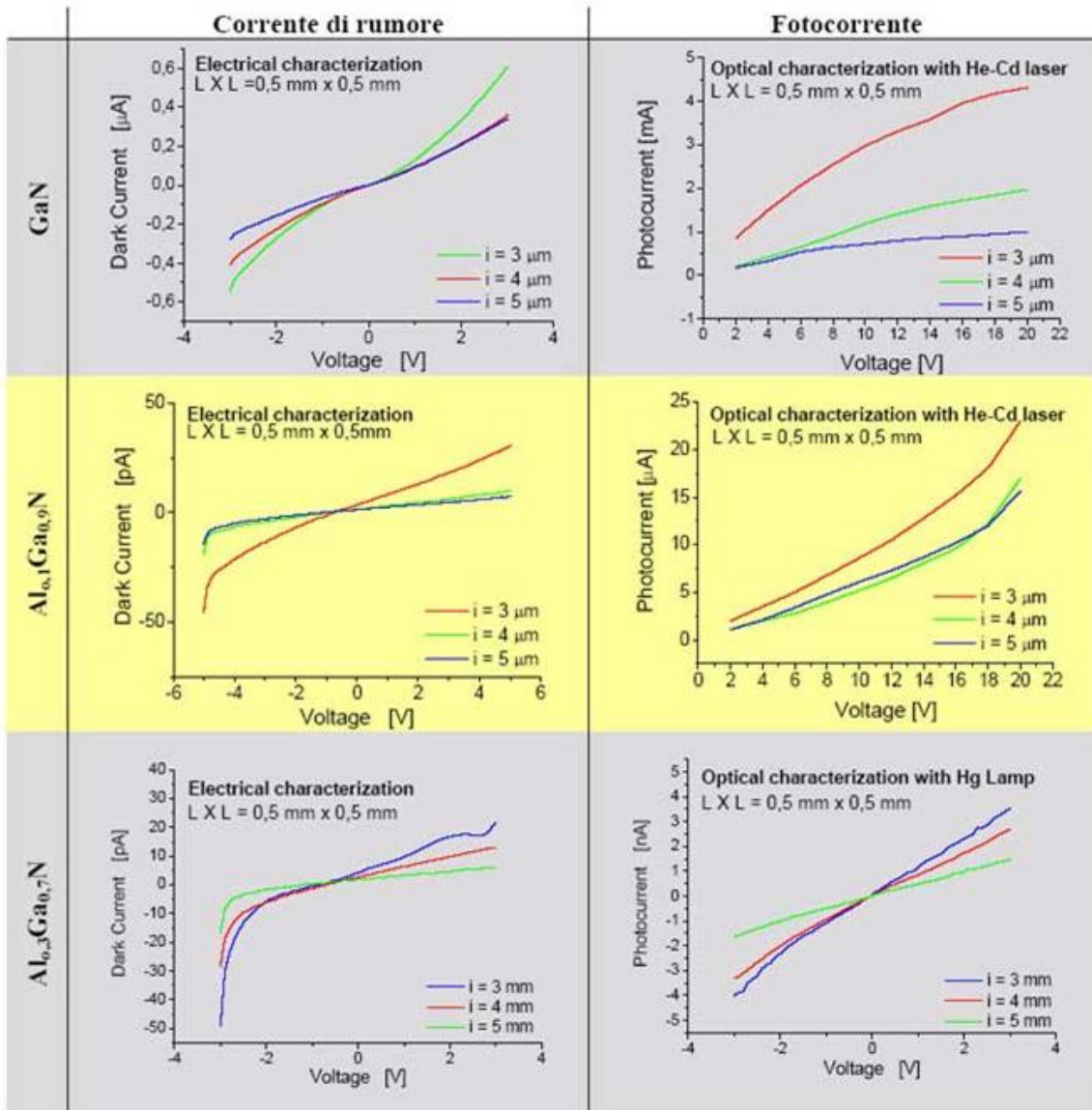


Figura 8: Caratterizzazione elettrica ed ottica di dispositivi MSM su GaN e AlGaN

Al fine di comprendere la risposta del fotorilevatore MSM al variare della concentrazione di gas presente all'interno della camera di analisi, in un primo momento è stato valutato l'effetto della sorgente ad arco sul gas. Lo spettro elettromagnetico da essa generato è stato analizzato tramite un monocromatore al variare della concentrazione del gas, nel range spettrale tra 290 nm e 425nm. Successivamente si è studiata la risposta del sensore MSM realizzato nella stessa camera di analisi. Sono state analizzate miscele di gas a concentrazione nota costituite da monossido di carbonio in azoto (0 9% CO) e da monossido di azoto in azoto (0 2% NO). Gli spettri ottenuti con tali miscele sono stati correlati con lo spettro ottenuto, nelle stesse condizioni, in presenza di un flusso di solo azoto. Lo studio di questi spettri ha permesso di individuare le transizioni caratteristiche del monossido di carbonio e del monossido di azoto. In particolare si è osservato che la presenza di una piccola quantità di CO all'interno del flusso di gas genera dei picchi intorno a 380 nm ed oltre 400 nm la cui intensità è crescente con la quantità di CO presente all'interno del flusso. Tali picchi sono direttamente correlabili alla decomposizione delle molecole di CO in C, O₂, C₂ (Figura 9).

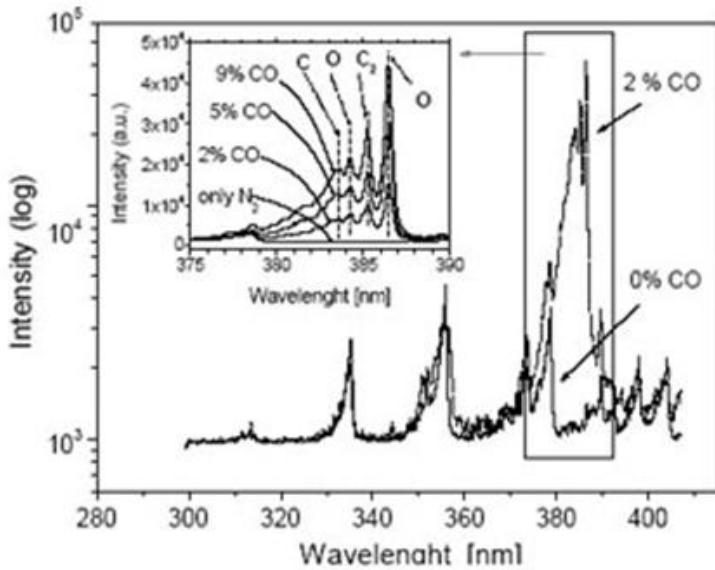


Figura 9: Spettro ottenuto in presenza di gas a concentrazione variabile di CO in flusso di azoto

Di più difficile interpretazione è stato lo spettro ottenuto in presenza di NO in azoto. Infatti, sebbene si rilevi una variazione nella forma dello spettro al variare della concentrazione di NO nel flusso di gas, le transizioni caratteristiche del monossido di azoto e dell'azoto sono caratteristiche di lunghezze d'onda molto vicine tra loro (inset di Figura 10). Per una determinata transizione, al variare della quantità di NO nel flusso, si possono distinguere tre comportamenti: per piccole concentrazioni di NO (0-0,4%) l'intensità della radiazione incidente sul rivelatore diminuisce; per concentrazioni tra 0,4% e 1,4% tale intensità aumenta ed infine tra 1,4% e 2% decresce nuovamente. In particolare, il contributo dovuto alle molecole di NO è dato da una combinazione tra l'emissione delle molecole che interagiscono con la scintilla e l'assorbimento dalle molecole presenti tra la scintilla e rivelatore. Uno studio approfondito dei risultati ottenuti ha permesso di confermare tale comportamento ipotizzando che la radiazione luminosa incidente sul rivelatore è somma dell'emissione e dell'assorbimento dovuto sia alle molecole di NO che a quelle di N₂.

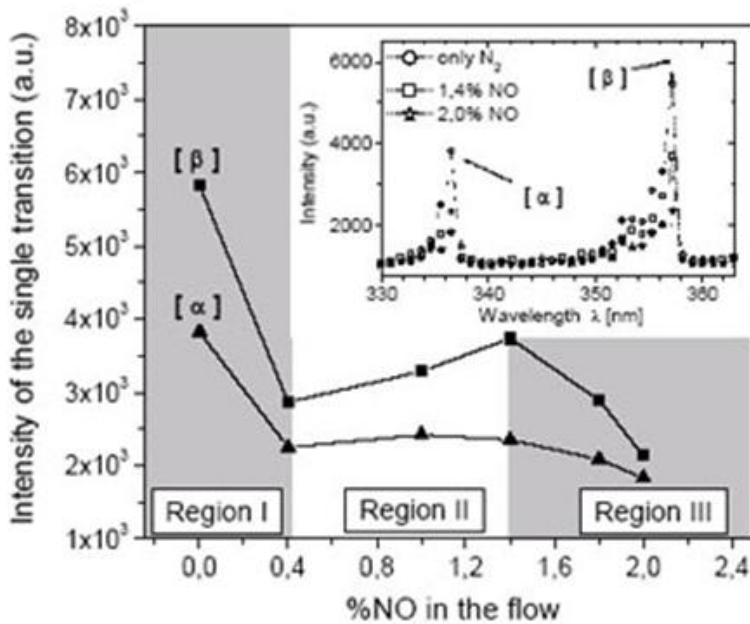


Figura 10: Studio delle transizioni ottenute in presenza di una miscela di gas a concentrazione variabile di NO in flusso di azoto.

Infine, è stata valutata la risposta di un fotorelevatore fabbricato su GaN al variare della concentrazione di NO o di CO nel flusso di azoto. I risultati finali sono in accordo con quelli ottenuti durante la caratterizzazione spettrografica dei gas. Nel dispositivo, alimentato con una tensione di 5V e 10V, si è generata una fotocorrente crescente con l'aumentare della tensione applicata e, soprattutto, della concentrazione di CO o di NO nel flusso. In particolare, il dispositivo riesce a discriminare variazioni di concentrazione tra 0% e 2% di CO e di NO in solo azoto attraverso un aumento complessivo di fotocorrente pari rispettivamente a circa 280 A e 410 A se alimentato con la tensione di 5 V, e circa 350 A e 690 A se alimentato con la tensione di 10 V (Figura 11).

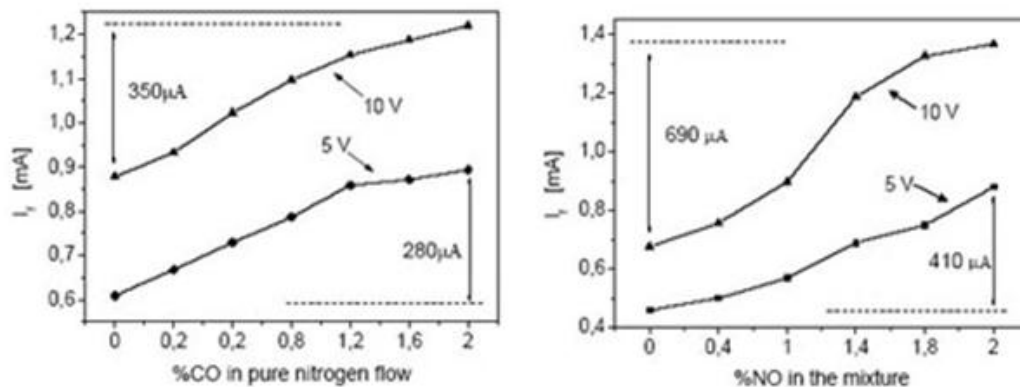


Figura 11: Valori di foto corrente misurati dal dispositivo MSM al variare della concentrazione del gas all'interno della camera di analisi

Al fine della realizzazione delle misure sperimentali è stato realizzato un sistema fisico (una camera) all'interno del quale il gas, fluendo in continua, passa tra la sorgente luminosa ed il rilevatore ad essa accoppiato il quale raccoglie la luce emessa dall'arco voltaico e filtrata del gas.

I prototipi dei sensori realizzati (figura 12) sono stati testati ex-situ ed in-situ mediante la realizzazione di opportuni set-up sperimentali.



Figura 12: foto di alcuni dei prototipi realizzati

Per effettuare le misure in-situ è stato sviluppato un programma di controllo del monocilindro da ricerca che consente di effettuare il controllo motore sulla base del segnale proveniente dal sensore sviluppato nell'ambito presente progetto. Il codice è stato sviluppato in ambiente LabView su una piattaforma hardware di tipo FPGA. Scopo del software di gestione è quello di acquisire alcuni segnali di riferimento dal motore sulla base dei quali calcolare e generare in tempo reale un segnale ad onda quadra che piloti il modulo di potenza per l'azionamento dell'iniettore. Il software di controllo è stato studiato in modo che l'FPGA possa interagire in tempo reale con l'utente, inviando e ricevendo informazioni di qualunque tipologia come i fondamentali parametri di calcolo (ad esempio durata e numero delle iniezioni), oppure operare autonomamente sulla base dei parametri di default in precedenza assegnati. Per far sì che tutti i segnali siano in fase con i cicli motore è stato necessario acquisire due segnali di riferimento. Il primo proviene da un sensore ad induzione magnetica che, tramite variazioni di tensione, rileva il passaggio di fori situati sulla circonferenza del volano, disposti ad una distanza angolare di 6 gradi di manovella uno dall'altro. Lungo questa circonferenza sono assenti due fori contigui immediatamente prima della posizione del punto morto superiore "0 gradi", per individuarla univocamente. Il secondo segnale è indispensabile poiché la durata del ciclo di un motore quattro tempi corrisponde a due giri di albero, pertanto l'individuazione della posizione "0 gradi" è insufficiente. Occorre, quindi, un altro riferimento che segnali univocamente quale fase del ciclo si sta svolgendo. A tal fine si acquisisce un segnale di tensione proveniente da un altro sensore ad induzione magnetica disposto in prossimità di una puleggia calettata sull'albero di distribuzione, che registra il passaggio di uno sbalzo sulla sua circonferenza. Il passo successivo è stato lo sviluppo di un nucleo di codice che, sulla base dei dati forniti dal contatore e a fronte degli input forniti dall'utente e dai segnali acquisiti dal sensore in fase di sviluppo calcolasse e generasse, in tempo reale, il segnale necessario per pilotare la valvola a solenoide. Si è rilevato che i dati acquisiti per la determinazione della fasatura motore sono caratterizzati da una forte incertezza dovuta all'ampio intervallo in gradi fra i fori posti sul volano. In ragione di questo, il codice in questione ha dovuto limitare al minimo l'uso diretto di tali valori, onde evitare problemi di scarsa ripetibilità delle misure ed evitare condizioni di instabilità del controllo motore. Per risolvere il problema si sono inseriti sulla linea di acquisizione del segnale in questione due filtri. Il primo filtra il rumore bianco (low-pass) a partire da una frequenza pari ad 1/10 della frequenza di campionamento. Il secondo genera una dead zone sul segnale, portandolo a zero in un certo intervallo di tensione, nel nostro caso simmetrico rispetto all'asse dei tempi, e realizzando un offset sul resto dei valori secondo il seguente algoritmo:

output = input - start of dead zone for input < start of dead zone
output = input - end of dead zone for input > end of dead zone
output = 0 for start of dead zone <= input <= end of dead zone

In tal modo è stato possibile occultare completamente la zona di attraversamenti multipli scegliendo un'opportuna soglia di tensione di dead zone. Un ulteriore problema è stato prodotto dalla concorrenza di due fattori: il comportamento della funzione Zero Crossing e la natura del segnale proveniente dal sensore sul volano nelle "zone d'ombra". In corrispondenza di queste, in effetti, il segnale non vale esattamente zero, anzi oscilla nei dintorni di un valore positivo di tensione abbastanza prossimo alla soglia di dead zone. In più, la funzione Zero Crossing considera attraversamenti dell'asse dei tempi anche che risultano nulli ma non negativi. Secondo l'algoritmo del filtro dead zone, il segnale trattato presenta, in corrispondenza delle "zone d'ombra", numerosi tratti in cui il segnale si annulla senza però di fatto divenire negativo. Pertanto, il funzionamento congiunto del filtro dead zone e della funzione Zero Crossing, durante il passaggio sulle "zone d'ombra", produce la rilevazione di diversi attraversamenti dell'asse dei tempi che non corrisponde ad alcun passaggio di fori, e ciò si traduce in errori sulla fasatura motore. Per rendere il codice indifferente a tali andamenti, si è realizzata una nuova Zero Crossing, che non interpreti erroneamente il segnale trattato, ottenendo un corretto funzionamento del contatore. La fase finale di questa progettazione ha riguardato alcune considerazioni circa le esigenze, da parte dell'utente, di esercitare pieno controllo sull'applicazione interfacciata al motore, in maniera tale da garantire le condizioni operative di sicurezza essenziali. Due, principalmente, sono le esigenze dell'utente:

1. garantire l'arresto automatico dell'applicazione al verificarsi di un "fuori range" di uno dei segnali di controllo;
2. disporre di un pulsante di arresto che abbia la priorità su tutta l'applicazione ed interrompa immediatamente la generazione di segnale, quindi l'erogazione di combustibile, in caso di emergenza.

La prima esigenza è stata soddisfatta inserendo nel nucleo contatore, a monte del secondo frame, la funzione Greater, che verifica ad ogni iterazione se il contatore dei fori è fuori range. Questa funzione restituisce una variabile booleana che pilota una Case Structure: essa contiene nel frame "false" tutto il codice di calcolo del contatore e nel frame "true" un semplice codice di arresto del While Loop principale. In tal modo, essa ha il pieno controllo sull'arresto del contatore che si verifica quando si esegue il frame "true". L'arresto del nucleo di comando dell'iniettore avviene tramite l'aggiornamento della variabile booleana Stopped: la corrispondente variabile locale nel nucleo di comando, infatti, si trova in "and" sulla linea di pilotaggio dell'iniezione e può, così, inibire un'ulteriore generazione di segnale; in più produce l'arresto del While Loop principale agendo sul relativo controllo di stop. La seconda esigenza è stata analogamente soddisfatta mettendo in "or" con la precedente variabile di pilotaggio un'ulteriore variabile controllata da un pulsante di arresto, localizzato sul Front Panel del VI, su cui l'utente può intervenire in tempo reale. Le modalità di arresto sono identiche. Le modalità di arresto sono state organizzate in modo che, sebbene il conteggio sia stato arrestato, il Loop esterno, prima di essere bloccato, continua ad iterare ancora: la variabile locale Indice, infatti, restituisce il valore del numero di iterazioni del While all'ultimo aggiornamento del contatore dei fori (ovvero all'ultima iterazione prima del comando di arresto). Questo numero, sommato al valore numerico della variabile locale Sample period, viene confrontato col contatore di cicli del Loop, ritardandone per l'appunto l'arresto. Lo scopo di questo ritardo è quello di lanciare, per un certo intervallo di tempo oltre il segnale di arresto, segnali di trigger verso il nucleo di comando, che permettano a questo di completare gli eventuali ritardi e

prolungamenti nella generazione del segnale, quindi di reiterare nuovamente aggiornando la variabile Stopped che può arrestare definitivamente il sistema. Se i segnali di trigger non fossero lanciati, infatti, il Loop di comando resterebbe indefinitamente in attesa e ciò non permetterebbe una corretta chiusura del VI. Onde evitare fenomeni indesiderati, quali prosecuzione indefinita dell'iniezione o permanenza di valori non opportuni in alcune variabili, è necessario, infatti, che l'intera struttura completi l'esecuzione, eseguendo l'ultimo frame della Sequence Structure globale, che contiene l'intero codice. Il sistema di controllo è stato ultimato con la realizzazione dei dispositivi di potenza per l'attuazione dell'iniettore e con quelli di acquisizione del segnale proveniente dal sensore sviluppato. Particolare attenzione è stata rivolta al packaging del sensore e della sorgente luminosa. Si è deciso di utilizzare come sorgente luminosa normali candele automobilistiche alimentate però tramite opportuno dispositivo in grado di fornire una tensione di 20kV e di sostenere la spark per durate temporali fino ai 15 secondi.

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

Non sono stati riscontrati particolari problemi nello svolgimento delle attività di ricerca.

13. Elenco unità di ricerca che hanno partecipato al programma di ricerca

n°	Università	Facoltà	Responsabile	Quota Ateneo	Cofinanziamento assegnato	Finanziamento totale	Pagato	Residuo da saldare (già fatturato)	Cifra impegnata	Spese globali sostenute	Nota
1.	Università degli Studi del SALENTO	Facoltà di INGEGNERIA	FICARELLA Antonio	8.572	20.000	28.572	19.306	9.260	0	28.572	
2.	Università degli Studi del SALENTO	Facoltà di INGEGNERIA	VISCONTI Paolo	10.286	24.000	34.286	33.649	0	630	34.286	
TOTALE				18.858	44.000	62.858	52.955	9.260	630	62.858	

14. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate

	(mesi uomo)		
	I anno	II anno	TOTALE
personale universitario	12	12	24
altro personale	0	0	0
Personale a contratto a carico del PRIN 2005 (escluse le borse di dottorato)	0	6	6
Borse di dottorato	0	0	0

15. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

	(numero)
partecipazioni a convegni pertinenti:	
in Italia	2
all'estero	4
articoli pertinenti pubblicati:	
su riviste italiane con referee	0
su riviste straniere con referee	6
su altre riviste italiane	0
su altre riviste straniere	0
comunicazioni a convegni/congressi internazionali pertinenti	7
comunicazioni a convegni/congressi nazionali pertinenti	0
rapporti interni	3
brevetti depositati	0

16. Tabella delle spese sostenute

n°	Responsabile (Cognome e Nome)	Università	Materiale inventariabile	Grandi Attrezzature	Materiale di consumo	Quota forfetaria certificata	Spese per calcolo ed elaborazione dati	Personale a contratto a carico del PRIN 2005	Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2005	Servizi esterni	Missioni	Pubblicazioni	Partecipazione / Organizzazione convegni	Altro	Cifra impegnata	TOTALE
1.	FICARELLA Antonio	Università degli Studi del SALENTO	9.029	0	13.015	2.286	0	0	0	0	3.800	0	436	0	0	28.566
2.	VISCONTI Paolo	Università degli Studi del SALENTO	7.055	0	14.940	2.743	0	8.911	0	0	0	0	0	0	630	34.279
TOTALE			16.084	0	27.955	5.029	0	8.911	0	0	3.800	0	436	0	630	62.845

(Per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati; D.lgs. 196/2003 del 30/06/2003 sulla "Tutela dei dati personali")

Data 10/03/2008 01:58

Firma