

Assegno di ricerca per il progetto di ricerca dal titolo:

*SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA DI MISURA DELLE
PERFORMANCE DI PROGETTI R&D*

RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ SVOLTE

Perugia, Settembre 2020

Ph.D Emanuele Piccioni



INTRODUZIONE.....	3
1. METODOLOGIA.....	4
2. PROSPETTIVE E INDICATORI	5
3. ANALISI EFFETTUATE	8
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	11
BIBLIOGRAFIA	13



INTRODUZIONE

Il progetto di ricerca "SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA DI MISURA DELLE PERFORMANCE DI PROGETTI R&D" ha previsto molteplici attività che saranno descritte nella presente relazione.

In tale progetto sono state analizzate e studiate tecniche innovative che consentano la valutazione delle performance di progetti di Ricerca e Sviluppo (R&D). Per lo sviluppo di tali metodologie sono state ideate tecniche e metriche per la valutazione di indicatori anche mediante la somministrazione di questionari e test volti all'emersione degli aspetti caratterizzanti i progetti di ricerca.

Le caratteristiche attuali dei mercati come la forte concorrenza, la spinta segmentazione, il ciclo di vita dei prodotti sempre più breve, gli sviluppi tecnologici e di automazione sempre più rapidi hanno reso le attività di R&D un fattore critico per la crescita e la competitività. I manager delle imprese necessitano di strumenti in grado di valutare le performance dei progetti R&D sviluppati al fine di indirizzare gli investimenti e valutare l'efficacia dell'organizzazione e dei progetti finanziati. Analogamente enti decisori ed erogatori, interessati alle politiche di incentivazione diffuse di progetti R&D, necessitano di strumenti per la valutazione delle prestazioni dei progetti incentivati al fine di fare analisi complessive e impostare politiche di lungo termine. Per questo motivo è oggetto di studi recenti la definizione di metriche e indicatori per la valutazione delle prestazioni R&D. In ambito industriale la valutazione delle prestazioni delle attività R&D è diventata un tema centrale per le analisi dei manager sia in ambito di valutazione delle performance delle attività svolte sia per la programmazione di investimenti e attività strategiche. In letteratura esistono numerosi approcci riguardanti sia la metodologia che gli indicatori scelti per misurare le prestazioni R&D, spesso sviluppati nell'ambito di valutazioni di tipo economico. Nelle ricerche svolte si è inteso proporre nuovi metodi basati su tecniche avanzate che impiegano strumenti statistici a vari livelli del processo valutativo.

La complessa valutazione delle prestazioni delle attività R&D è spesso affrontata impiegando sia Metodi quantitativi che valutazioni di carattere qualitativo. Le diverse metodologie trovano applicazione in sistemi di supporto alle decisioni (DSS) che sono sempre più impiegati ad esempio da commissioni per il finanziamento di progetti. Tali metodi fanno esplicitamente riferimento alla metrologia ma spesso in maniera impropria.

Non esistono però attualmente standard per la misura delle performance di progetti R&D. Lo studio condotto nel corso delle ricerche svolte prende le mosse dall'intenzione di definire un metodo di valutazione delle prestazioni R&D basato sui fondamenti della teoria delle misurazioni che eviti le anomalie e le stime non significative di un approccio non rigoroso.

Le attività svolte sono discusse nei seguenti capitoli.

- Nel Cap.1 si descrivono le Metodologie di indagine indagate e le tecniche impiegate.
- Nel Cap.2 sono descritte le aree individuate e gli indicatori funzionali allo sviluppo dei metodi di misura.
- Nel Cap.3 sono descritte le analisi svolte.
- Nel Cap.4 sono effettuate alcune valutazioni conclusive sull'attività di ricerca svolta.



1. METODOLOGIA

Per la valutazione delle performance dei progetti R&D sono state analizzate diverse metodologie. Le indagini condotte hanno contribuito a definire le strategie di sviluppo e i metodi di indagine.

La letteratura ha mostrato come l'impiego di tecniche che assegnino lo stesso peso a diverse metriche (indicatori) nella misurazione delle prestazioni delle attività di ricerca e sviluppo può generare delle interpretazioni sbagliate riguardo alle effettive prestazioni, minando l'efficienza e la valenza della strategia R&D [Salimi et Rezaei, 2018]. Per considerare i diversi livelli di importanza delle metriche nella metodologia che è stata applicata è stato utilizzato un metodo decisionale multicriterio, l'AHP (Analytic Hierarchy Process) [Saaty, 1986]. Con l'approccio AHP si rappresenta il problema di valutazione delle performance come una gerarchia formata dal livello dei criteri e del livello dei sotto-criteri. Ogni criterio descrive una delle prospettive (aree) individuate ritenute importanti nella descrizione di un processo di R&D. I sotto-criteri rappresentano le metriche associate a ciascuna prospettiva. Ad ogni sotto-criterio corrisponde un indicatore quantitativo. I valori degli indicatori vengono poi aggregati tramite un AHP modificato appositamente per tenere conto di importanti aspetti della metodologia:

- Introduzione di funzioni di mappatura e normalizzazione che consentano la definizione di una scala unica per tutti gli indicatori, sia quantitativi che qualitativi. Tali funzioni dovrebbero tenere conto della distribuzione statistica di ciascun indicatore. L'analisi della statistica degli indicatori darà indicazione sull'eventuale necessità di introdurre una statistica specifica per tipologia di progetto.
- Introduzione dell'incertezza nel processo di valutazione tramite l'analisi della distribuzione statistica dei confronti a coppie, previsti dalla gerarchia AHP, formulati da diversi decisori. Valutazione degli effetti dell'incertezza sui pesi che saranno inseriti nel calcolo del ranking finale.

Nelle attività di ricerca condotte si è fatto riferimento a dati sui progetti di Ricerca e Sviluppo generati tipicamente nel corso della rendicontazione e sviluppo di progetti R&D cofinanziati. Poiché si ha l'obiettivo di definire un metodo fruibile a prescindere dal sistema di project management impiegato nella gestione dei progetti, sono stati impiegati solo quegli indicatori, per ciascuna delle aree individuate, definibili a partire dalle tipologie di dati generalmente disponibili.



2. PROSPETTIVE E INDICATORI

In base agli studi in letteratura sono state individuate le seguenti cinque prospettive per la valutazione di indicatori [Lazzarotti et al., 2011]:

- Customer perspective;
- Internal Business perspective;
- Innovation and Learning perspective;
- Financial perspective;
- Alliances and Networks perspective.

Le prospettive individuate catturano diversi aspetti del processo di ricerca e sviluppo necessari ad una valutazione corretta ed esaustiva delle attività correlate:

I. Customer perspective

Questa prospettiva cattura gli aspetti relativi alla reputazione di innovatività che il progetto R&D ha presso i consumatori e alle interazioni con questi durante le attività di sviluppo.

II. Internal Business Perspective

Questa prospettiva cattura gli aspetti relativi alle attività interne che influenzano direttamente le performance del progetto. In particolare gli aspetti relativi alle capacità tecnologiche, alle risorse umane e produttive dedicate alle attività di progetto. La produttività del progetto viene valutata in termini di raggiungimento degli obiettivi tenendo conto del rispetto dei tempi e del budget delle attività eseguite.

III. Innovation and Learning Perspective

Questa prospettiva cattura gli aspetti relative allo sviluppo e all'apprendimento di nuova conoscenza ed esperienza dall'esecuzione delle attività di progetto. Le metriche di questa prospettiva valutano la capacità di creare e migliorare il valore dell'aspetto R&D del progetto in termini di input come il livello di preparazione scientifica dei partecipanti e di output come eventuale proprietà intellettuale e comunicazioni ufficiali scientifiche.

IV. Financial Perspective

Questa prospettiva cattura gli aspetti finanziari di un progetto R&D con un focus sulla sostenibilità dei costi e delle misure volte a contenerli.

V. Alliances and networks perspective

Questa prospettiva cattura gli aspetti relativi alle interazioni con altri attori, aziende e fornitori nelle attività di progetto e nei piani di sviluppo dei risultati del progetto stesso.

Lo sviluppo della corretta metodologia di analisi è proceduto per diverse fasi.

1. Individuazione Indicatori Funzionali

La prima fase corrisponde all'elaborazione di indicatori funzionali, che sono stati introdotti al fine di sviluppare i vari stadi della metodologia di valutazione. Gli indicatori finali necessari alla valutazione delle performance dei progetti R&D saranno elaborati nella seconda fase, in seguito all'analisi dei dati provenienti da questionari che saranno sottoposti ad esperti del settore, come sarà descritto successivamente.

Nella prima fase dello sviluppo della metodologia sono stati individuati indicatori funzionali per le seguenti prospettive:

- Internal Business,
- Innovation and Learning,
- Financial,



- Alliance and Networks

Le aree individuate permettevano la definizione di indicatori funzionali sulla base dei dati disponibili generati nel corso delle attività di sviluppo e rendicontazione di progetti cofinanziati. In questo caso le informazioni generalmente disponibili non consentono di formulare indicatori significativi per l'area Customer Perspective.

Gli indicatori funzionali individuati sono:

Internal business perspective

- *Numerosità team di progetto/Costi progetto*
- *Numerosità team di progetto/ durata del progetto*
- *N° attività di progetto/Durata del progetto*
- *Costo totale fornitori/Importo tot progetto*

Innovation and learning perspective

- *Numero brevetti/ Importo del progetto rendicontato su credito d'imposta*
- *Numero findings (articoli su rivista, libri, convegni, fiere, altro)/Costo progetto*
- *Percentuale persone avente un livello di studio pertinente*

Financial perspective

- *Annual spending per progetto/Annual spending tutti progetti azienda*
- *N° bandi del progetto/N° attività progetto*
- *Importo del progetto su bandi/Costo totale progetto*
- *Importo del progetto rendicontato a credito d'imposta/Costo totale del progetto*

Alliances and networks perspective

- *N° consulenti (accordo di ricerca commissionata oppure servizi di consulenza tecnico-scientifica per attività R&D)/Costo totale del progetto*
- *Numerosità team di progetto/numero impiegati R&D*
- *N° partner di progetto/costo di progetto*

2. Metodo AHP e definizione degli Indicatori

Analytic Hierarchy Process (AHP) è una tecnica di supporto alle decisioni multicriterio. Rappresenta un approccio accurato, attraverso la creazione di una gerarchia, per quantificare i pesi dei criteri e dei sotto-criteri. L'esperienza di esperti è usata per la stima del peso relativo dei fattori tramite confronti a coppie, che possono essere valutati tramite questionari. Dai confronti a coppie si ricavano vettori di priorità per gli elementi della gerarchia che poi vengono aggregati attraverso i livelli per ottenere i pesi. L'aggregazione dei valori degli indicatori fornisce una metrica di sintesi per la valutazione delle prestazioni del progetto R&D.

Nella metodologia sviluppata le prospettive costituiscono i criteri della gerarchia; gli indicatori sono i sotto-criteri. I vettori di priorità dei criteri e sotto-criteri vengono utilizzati per ricavare i pesi nell'aggregazione dei valori degli indicatori.

Per calcolare i pesi degli oggetti di un livello rispetto al livello superiore viene utilizzato il criterio della media geometrica:

I confronti a coppie tra gli elementi di un livello rispetto all'oggetto del livello superiore a cui fanno riferimento sono descritti dalla matrice a_{ij} .

w è il vettore che come entrate ha la media geometrica di ciascuna riga della matrice dei confronti a coppie.

$$w = \left(\sqrt[m]{a_{11}a_{12} \dots a_{1m}}, \dots, \sqrt[m]{a_{m1}a_{m2} \dots a_{mm}} \right)$$



a_{ij} = elemento della matrice A dei confronti a coppie

Il vettore priorità w^* è calcolato normalizzando il vettore delle medie geometriche, la priorità dell'elemento i è dunque calcolata come segue:

$$w_i^* = \frac{w_i}{\sum w_i}$$

Il punteggio R&D è calcolato come aggregazione dei valori degli indicatori misurati per i pesi che ne caratterizzano le priorità lungo la gerarchia costituita dal livello delle aree (criteri) e degli indicatori (sottocriteri).

In questo caso le priorità da aggregare sono di due tipi:

- 1) la priorità dell'indicatore rispetto all'area cui appartiene, qui indicato con v_{ij} ;
- 2) la priorità dell'area cui appartiene l'indicatore, qui indicata con p_i .

Il punteggio R&D è calcolato come segue:

$$P_{R\&D} = \sum_i \sum_{j \in S_i} p_i v_{ij} x_j$$

dove:

p_i è il peso del criterio i

v_{ij} è il peso del sottocriterio j rispetto al criterio i

x_j è il valore del sottocriterio corrispondente al peso v_{ij} , espresso in una scala opportuna

S_i è l'insieme dei sottocriteri del criterio i

L'indice di consistenza CI , viene calcolato come segue:

$$CI = \frac{x - m}{m - 1}$$

dove

$$x = \left[\frac{(Aw^*)_j}{w_j^*} \right]$$

Il rapporto di consistenza CR , che fornisce una stima di quanto la matrice di confronti a coppie soddisfi alla condizione $a_{ik} = a_{ij} * a_{jk}$, è dato dal rapporto di CI e RI è un random index che dipende dalla dimensione m della matrice:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Un valore di CR inferiore a 0.1 indica una consistenza accettabile per la matrice dei confronti a coppie.

Nel corso delle ricerche effettuate, invece di far uso degli indici CI e CR , sono state valutate delle modalità per gestire l'inconsistenza che è tipica dei processi decisionali umani.

3. ANALISI EFFETTUATE

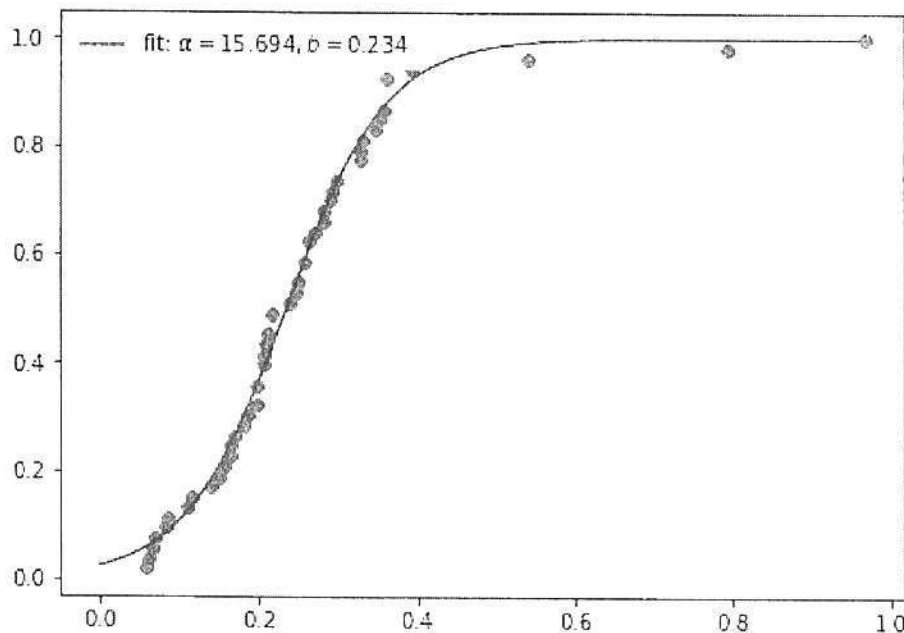
La metodologia di valutazione delle performance dei progetti R&D sviluppata nel corso delle ricerche svolte prevede delle evoluzioni rispetto all'utilizzo del metodo AHP canonico descritto nella sezione precedente.

La prima evoluzione riguarda la mappatura e la normalizzazione degli indicatori quantitativi, individuati nel corso dello studio, per la definizione di una scala unica. In letteratura sono presenti varie tipologie di funzioni per la mappatura di quantità discrete e/o continue [Krejčí et al., 2017]. Nel presente caso si è prima introdotta una mappatura lineare tra l'intervallo di variazione dell'indicatore e l'intervallo [0,1]. Gli estremi dell'intervallo sono aggiornati dinamicamente in base al minimo e massimo dei valori che l'indicatore in esame ha considerando i dati presenti nel DB dei progetti nel momento dell'analisi.

Per rendere più significativa la mappatura, si è deciso di considerare la distribuzione statistica dei valori di ogni indicatore utilizzando la funzione di ripartizione:

$$F(x) = P(X \leq x)$$

È stata calcolata la funzione di ripartizione empirica sui dati storici, relativi ai progetti di R&D monitorati nell'arco temporale 2015-2018, dei vari indicatori. Sulla funzione di ripartizione empirica sono state fatte delle prove di fit per individuare l'andamento funzionale più adatto a rappresentare la funzione di ripartizione e quindi la funzione di mappatura. Nella figura che segue è rappresentata la funzione di ripartizione empirica (punti blu) e il fit con una funzione sigmoide, $f(x) = \frac{1}{e^{-a(x-b)} + 1}$, dell'indicatore $\frac{\text{numero attività di progetto}}{\text{durata di progetto}}$.



L'analisi della statistica degli indicatori darà indicazione sull'eventuale necessità di introdurre una statistica specifica per tipologia di progetto. In caso positivo saranno individuate le tipologie di progetto, più in generale i cluster di tipologie, che hanno statistiche differenti per gli indicatori.



Le statistiche di ogni indicatore, ed eventualmente per ogni cluster di tipologie individuate, saranno aggiornate con l'inserimento dei dati dei nuovi progetti. L'obiettivo è quello di avere una banca dati relativa alle statistiche consultabile dai valutatori. In questo modo il valutatore ha accesso alla statistica più aggiornata per la tipologia del progetto in valutazione. L'inserimento dei dati da parte del valutatore contribuisce ad ingrandire le dimensioni dell'insieme di valori per il singolo indicatore su cui viene effettuato il calcolo della funzione di ripartizione. Questo approccio rende più significativa la statistica degli indicatori man a mano che il sistema di valutazione viene utilizzato.

L'AHP utilizza metodi deterministici per derivare i pesi di priorità dei vari elementi nella gerarchia. La natura non stocastica del metodo non considera possibili sorgenti di errori nel processo decisionale o di valutazione che invece esistono nei problemi reali. In modo non difforme ad alcuni metodi presenti in letteratura ([Saaty et Vargas, 1987], [Moreno-Jimenez et Vargas, 1993], [Basak, 2011]), questo studio intende considerare l'incertezza attraverso l'analisi statistica dei confronti a coppie effettuati da diversi decisori/esperti del settore. La metodologia in sviluppo però introduce l'approccio statistico ad un livello precedente rispetto ai confronti a coppie, prevedendo anche questionari per individuare gli indicatori più adatti a descrivere ognuna delle aree individuate in base ai dati disponibili per l'analisi.

È stata pertanto elaborata una nuova procedura, che prevede i seguenti passi:

- QUESTIONARIO STEP 0: serve a valutare se le grandezze utilizzate nella prima fase dello studio per la formazione degli indicatori sono disponibili, o ricavabili, per le diverse tipologie di progetti a cui i membri del gruppo hanno partecipato e/o partecipano. Questo è l'oggetto del questionario "Step 0". Il questionario è stato somministrato ad esperti in progetti di Ricerca e Sviluppo, tra cui ricercatori e docenti universitari.
- QUESTIONARIO STEP 1: serve a definire le aree e le loro metriche (indicatori) che catturino i diversi aspetti significativi delle attività R&D. Le metriche ritenute più significative per le differenti aree sono emerse da un'analisi statistica e qualitativa dei dati ottenuti dal QUESTIONARIO STEP 0.
- QUESTIONARIO STEP 2: serve ad applicare il metodo AHP e consiste nei confronti a coppie degli indicatori. Gli esperti saranno chiamati a esprimere le preferenze, tramite confronti a coppie, degli indicatori individuati nel passo precedente.

I dati raccolti vengono analizzati statisticamente per comprendere le tipologie di errori commessi nel processo di valutazione, per studiare le incertezze da essi causate e la loro propagazione sui pesi di priorità per la formazione del punteggio finale.

In particolare, è stata analizzata la propagazione delle inconsistenze nei confronti a coppie, dovute alla natura dei processi decisionali umani, sul punteggio R&D finale. L'inconsistenza si riflette sul punteggio finale attraverso un'incertezza che è dovuta alla propagazione delle inconsistenze decisionali dei diversi decisori coinvolti nell'analisi.

Il punteggio $P_{R\&D}$ viene calcolato per ogni decisore e poi aggregato collettivamente su tutti i decisori utilizzando la media geometrica come metodo di aggregazione [Dong et al., 2010]. Il punteggio aggregato è calcolato come:

$$S_{DPR\&DI} = \sum_{i=1}^{N_{ind}} P_i^{(group)} x_i$$

Dove:

$S_{DPR\&DI}$ è il punteggio collettivo.



N_{ind} è il numero di indicatori nel calcolo del punteggio.

$P_i^{(group)}$ è il peso globale collettivo del criterio i . Nella gerarchia AHP in oggetto di questo studio il peso globale di un indicatore è dato dal prodotto della priorità dell'indicatore rispetto all'area cui appartiene (v_{ki} , nella notazione utilizzata nella sezione precedente) con la priorità dell'area di appartenenza (p_k , nella notazione della sezione precedente). Il peso collettivo globale è l'aggregazione dei pesi globali dati da ciascun decisore.

Riportiamo per comodità la formula finale dell'incertezza, tralasciando i dettagli matematici del calcolo che si rifanno alle tecniche di propagazione dell'errore conosciute in teoria della misura:

$$\sigma_S^2 = \sum_{i=1}^{N_{ind}} \sigma_{P_i^{(group)}}^2 x_i^2$$

Dove

σ_S^2 è il quadrato dell'incertezza sul punteggio finale collettivo (dovuto all'aggregazione dei punteggi espressi dai diversi decisori).

$\sigma_{P_i^{(group)}}^2$ è il quadrato della propagazione dell'inconsistenza dei singoli decisori sul peso globale collettivo dell'indicatore i .

x_i^2 è il quadrato del valore misurato dell'indicatore i .

Una volta completato il QUESTIONARIO STEP 2 sarà possibile utilizzare i dati ottenuti per il calcolo numerico del punteggio collettivo e dell'indecisione su di esso.

Nel corso delle ricerche svolte sono quindi state identificate le metodologie adeguate per la valutazione delle performance dei progetti R&D. Sono state elaborate tecniche innovative che estendono l'impiego di funzioni statistiche in più fasi della procedura.

Tali risultati sono molto soddisfacenti e di elevato valore scientifico. Le tecniche sviluppate potranno essere un supporto efficace e impiegato in sistemi di supporto alle decisioni in modo strutturale sia in ambito industriale, sia da parte di decisori e enti erogatori.

È stata iniziata la campagna di test e di questionari per la valutazione degli indicatori.

Le attività relative alla somministrazione dei questionari e all'analisi delle risposte sono tuttora in corso. In particolare, sono stati completati gli STEP 0 e STEP 1. A causa delle sospensioni di numerose attività causate dall'emergenza COVID19 non è stato possibile ottenere attualmente tutti i dati necessari all'elaborazione degli indicatori. Si è in attesa dei dati per completare lo step 2 e definire gli indicatori da poter impiegare nelle procedure valutative.

Per tale ragione i risultati della ricerca saranno pubblicati a valle delle analisi dei dati, che sono in corso di acquisizione. Si sottolinea altresì il carattere di innovatività delle ricerche condotte, che hanno portato all'elaborazione di nuove tecniche statistiche. I risultati delle ricerche pertanto saranno a breve oggetto di pubblicazioni scientifiche, non appena completata la fase di reperimento dati e l'analisi statistica.



4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le attività R&D sono sempre più determinanti per la crescita, competitività e produttività di un'impresa. Per questo motivo misurare le prestazioni delle attività R&D è diventato un fattore critico per migliorare le performance aziendali. Attualmente non esistono standard per la misura delle performance di progetti R&D. Alcuni metodi quantitativi utilizzati fanno riferimento alla metrologia in maniera impropria. L'obiettivo delle attività di ricerca condotte è lo sviluppo di una metodologia di valutazione delle prestazioni delle attività R&D che tenga in considerazione l'aspetto statistico e l'analisi delle incertezze, entrambi necessari per un approccio rigoroso alla misura.

L'aspetto statistico viene utilizzato:

- I. Nell'individuazione della mappatura degli intervalli degli indicatori quantitativi ad una scala comune per essere utilizzata nella gerarchia AHP che forma il punteggio aggregato;
- II. Nell'individuazione degli indicatori delle aree di analisi e nel trattamento dei confronti a coppie degli elementi della gerarchia AHP effettuati da esperti del settore.

Il trattamento statistico degli indicatori e dei confronti a coppie permette di introdurre l'incertezza nel processo di valutazione e di studiarne la propagazione sul punteggio finale.

Le attività relative alla somministrazione dei questionari e all'analisi delle risposte sono tuttora in corso. In particolare sono stati completati gli STEP 0 e STEP 1, mentre i dati raccolti allo STEP 2 non sono ancora significativi e si è in attesa del completamento della raccolta dati, rallentata anche in considerazione della complessità di reperimento delle informazioni dagli stakeholders dovuta all'emergenza COVID.

Il progetto ha permesso lo sviluppo di metodi che aprono molteplici possibilità:

- La possibilità di valutare l'efficacia di politiche di investimento aziendali sulla base di metodi avanzati e rigorosi.
- La possibilità di fornire uno strumento a enti erogatori e decisori per la valutazione delle politiche di incentivazione e la definizione di strategie a lungo termine
- La possibilità di adeguare le procedure all'evoluzione dell'impiego, con un processo di feedback in grado di fornire indicatori sempre più accurati e significativi.

Dal punto di vista dell'impatto socio economico si potranno ottenere la valutazione quantitativa dell'efficacia di politiche di incentivazione e la valutazione complessa di progetti di ampio respiro. I parametri generalmente usati per la valutazione di politiche su scala regionale o nazionale difficilmente sono in grado di tenere conto di aspetti sistemici. Gli indicatori che saranno sviluppati in fasi successive della ricerca permetteranno di ottenere indicazioni di sintesi su sistemi complessi e su ampie scale temporali, con la conseguenza di avere programmazioni più consapevoli, e valutazioni di impatto e di performance maggiormente attendibili.

I risultati conseguiti incoraggiano la ricerca verso:

- Il completamento dell'indagine statistica
- La definizione di protocolli standard per la somministrazione dei questionari e la disseminazione a numerosi esperti mediante canali dedicati, per aumentare la numerosità dei dati e la base statistica
- L'estensione a più casi di applicazione
- La definizione di protocolli e linee guida su buone pratiche per la gestione di progetti di ricerca e sviluppo



L'evoluzione del progetto ha potenziale applicazione sia in ambito industriale dal punto di vista del management, sia dal punto di vista dei decisori e enti erogatori o controllori in quanto consente un controllo e una immediata visibilità delle performance dei progetti realizzati o finanziati.

I risultati delle indagini condotte nel progetto SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA DI MISURA DELLE PERFORMANCE DI PROGETTI R&D sono a un elevato livello di sviluppo in quanto sono stati ottenuti nuovi metodi di indagine e di valutazione delle performance dei progetti R&D. si attendono i risultati dei questionari inoltrati agli esperti per il completamento della base dati e l'analisi statistica. Per tale motivo è stato elaborato un original abstract che sarà sottoposto al journal Measurement - Journal of the International Measurement Confederation. Si attende il completamento della campagna di acquisizione dati per la pubblicazione dei risultati delle ricerche svolte.



BIBLIOGRAFIA

Salimi, Negin, and Jafar Rezaei. "Evaluating firms' R&D performance using best worst method." *Evaluation and program planning* 66 (2018): 147-155.

Saaty, Thomas L. "Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process." *Management science* 32.7 (1986): 841-855.

Lazzarotti, Valentina, Raffaella Manzini, and Luca Mari. "A model for R&D performance measurement." *International journal of production economics* 134.1 (2011): 212-223.

Krejčí, Jana, Dario Petri, and Michele Fedrizzi. "From measurement to decision with the analytic hierarchy process: Propagation of uncertainty to decision outcome." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 66.12 (2017): 3228-3236.

Saaty, Thomas L., and Luis G. Vargas. "Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process." *European Journal of Operational Research* 32.1 (1987): 107-117.

Moreno-Jimenez, Jose Maria, and Luis G. Vargas. "A probabilistic study of preference structures in the analytic hierarchy process with interval judgments." *Mathematical and Computer Modelling* 17.4-5 (1993): 73-81.

Basak, Indrani. "An alternate method of deriving priorities and related inferences for group decision making in analytic hierarchy process." *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 18.5-6 (2011): 279-287.

Dong, Yucheng & Zhang, Guiqing & Hong, Wei-Chiang & Xu, Yinfeng. (2010). Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems*. 49. 281-289. 10.1016/j.dss.2010.03.003.

Perugia, Settembre 2020

Ph.D Emanuele Piccioni

Emanuele Piccioni

Relatione triennale RTD Luigi Vergori [art. 24
comma 3, lettera b), legge n. 240 del 2010]
Periodo 7 Novembre 2016 - 6 Novembre 2019

Il Prof. Luigi Vergori ha conseguito la laurea in Matematica nel 2003 ed il dottorato di ricerca in Matematica nel 2008. Entrambi i titoli sono stati conseguiti presso l'Università del Salento. Successivamente al conseguimento del titolo di dottore di ricerca, Luigi Vergori ha ricoperto il ruolo di professore a contratto per il corso di Meccanica Razionale presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università del Salento, sede staccata di Brindisi, per gli anni accademici 2008/09, 2009/10 e 2010/11. Nello stesso periodo è stato titolare di assegno di ricerca presso il Dipartimento di Matematica dello stesso ateneo. Nel periodo Marzo 2012 - Settembre 2013, Luigi Vergori è stato Marie Curie Fellow dell'Istituto di Alta Matematica presso la School of Mathematics, Statistics and Applied Mathematics della National University of Ireland in Galway. Dal 9 Settembre 2013 fino al trasferimento presso l'ateneo perugino è stato Lecturer B (corrispondente alla posizione di professore associato in Italia) in Applied Mathematics presso la School of Mathematics and Statistics della University of Glasgow.

Gli interessi di ricerca del Prof. Vergori si incentrano principalmente in Meccanica dei Continui, anche se le sue prime pubblicazioni vertono su problemi di matematica pura, nello specifico di geometria Riemanniana. Tra le tematiche di ricerca di matematica applicata maggiormente sviluppate si annoverano approssimazioni per lo studio del moto di corpi sia solidi che fluidi, propagazione ondosa in continui elastici, meccanica dei cristalli liquidi nematici e colesterici, modelli costitutivi per plasmi anisotropi. Per i suoi contributi innovativi nella modellazione matematica della proprietà dei cristalli liquidi nematici confinati su superfici curve, al Prof. Vergori è stato conferito il premio AIMETA 2013 per la Meccanica Generale. Recentemente, per i suoi studi sulla termodinamica dei fluidi viscosi Vergori ha ricevuto il premio per la migliore pubblicazione del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.

Il Prof. Vergori ha infine conseguito l'Abilitazione Scientifica Nazionale alle funzioni di professore universitario di prima fascia (validità dal 08/07/2020 al 08/07/2029).

Posizione attuale ed incarichi

- Professore associato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia. Settore concorsuale 01/A4, settore scientifico disciplinare MAT/07 - Fisica Matematica.
- Membro del
 - collegio dei docenti del corso di dottorato in Ingegneria Industriale e dell'Informazione;
 - centro di ricerca interdipartimentale "Lamberto Cesari".

Progetti di ricerca (periodo 7/11/2016 - 6/11/2019)

- Principal investigator del progetto Ricerca di Base 2019 "*Propagazione Ondosa Nonlineare in Solidi Elastici*".
- Partecipante al progetto Ricerca di Base 2018 "*Propagazione Ondosa in Solidi Nonlineari*".
- Partecipante al progetto Ricerca di Base 2017 "*Propagazione Ondosa in Solidi Nonlineari*".
- Partecipante al progetto PRIN 2017 "*Mathematics of active materials: from mechanobiology to smart devices*".
- Coordinatore nazionale del progetto giovani GNFM 2017 dal titolo "*Gusci nematici sferici*".

Pubblicazioni (preparate e sottosposte per la pubblicazione nel periodo 7/11/2016 - 6/11/2019)

Articoli su rivista

- C. ROGERS, G. SACCOMANDI, L. VERGORI: *Helmholtz-type solitary wave solutions in nonlinear elastodynamics*. *Ricerche di Matematica* **69** (2020), 327–341.
- E. PUCCI, G. SACCOMANDI, L. VERGORI: *Linearly polarized waves of finite amplitude in pre-strained elastic materials*. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **475** (2019), 20180891.
- G. SACCOMANDI, L. VERGORI: *Generalised Mooney-Rivlin models for brain tissue: A theoretical perspective*. *International Journal of Non-Linear Mechanics* **109** (2019), 9–14.

- C. ROGERS, G. SACCOMANDI, L. VERGORI: *Cnoidal and gaussian phenomena in nonlinear elastodynamics*. Acta Mechanica, **229** (2018), 3489-3500.
- G. NAPOLI, L. VERGORI: *Influence of the extrinsic curvature on two-dimensional nematic films*. Physical Review E, **97** (2018), 052705.
- T. SIGAEVA, R. MANGAN, L. VERGORI, M. DESTRADE, L. SUDAK: *Wrinkles and creases in the bending, unbending and eversion of soft sectors*. Proceedings of the Royal Society of London Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, **474** (2018), 20170827.
- D. MACTAGGART, L. VERGORI, J. QUINN: *Braginskii magnetohydrodynamics for arbitrary magnetic topologies: Coronal applications*. Journal of Fluid Mechanics, **826** (2017), 615-635.

Contributo in volume

- G. SACCOMANDI, L. VERGORI: *Old Problems Revisited from New Perspectives in Implicit Theories of Fluids*. In: Angiolo Farina, Andro Mikelić, Giuseppe Saccomandi, Adélia Sequeira, Eleuterio F. Toro. Non-Newtonian Fluid Mechanics and Complex Flows. Lecture Notes in Mathematics **2212** (2018), Springer, 45-90.

Comunicazioni scientifiche

- Mathematical Aspects of Nonlinear Wave Propagation in Solid Mechanics, Oberwolfach 3-9 Marzo 2019.
- Giornate Signorini, Arezzo 24-25 Gennaio 2019 (su invito).
- Assemblea Scientifica del Gruppo Nazionale per la Fisica Matematica (GNFM), Montecatini 4-6 Ottobre 2018 (su invito).
- Advanced School on Theories and Applications of Liquid Crystals, Napoli 3-7 Settembre 2018 (mini-corso di tre lezioni).
- Recent Advances in Mechanics and Mathematics of Materials, Roma 22-24 Novembre 2017 (su invito).

Seminari

- Ciclo di quattro seminari presso il dipartimento di Matematica e Informatica dell'Università degli Studi di Firenze (15, 17, 20 e 24 Maggio 2019).
- National University of Ireland in Galway (17 Maggio 2018).
- Università degli Studi di Napoli "Federico II" (10 Aprile 2018).

- University of Luxembourg (6 Marzo 2018).

Inviti presso enti di ricerca nazionali ed esteri

- School of Mathematics, Statistics and Applied Mathematics - National University of Ireland in Galway (su invito del Prof. M. Destrade, Maggio 2018).
- Dipartimento di Matematica - Università degli Studi di Napoli "Federico II" (su invito della Prof. B. Stroffolini, Aprile 2018).
- Mathematics Research Unit - University of Luxembourg (su invito del Dr. A.D. Rahm, Marzo 2018).
- School of Mathematics and Statistics - University of Glasgow (su invito del Dr. D. MacTaggart, Settembre 2017).

Organizzazione scuole e workshop

- Co-organizzatore del mini-workshop: *Mathematical Aspects of Nonlinear Wave Propagation in Solid Mechanics*, Oberwolfach 3–9 Marzo 2019.
- Co-organizzatore della *Advanced School on Theories and Applications of Liquid Crystals*, Napoli 3–7 Settembre 2018.

Afferenza a gruppi di ricerca nazionali ed internazionali

- 2018–oggi: Membro de l'International Society for the Interaction of Mechanics and Mathematics (ISIMM).
- 2005–oggi: Membro del Gruppo Nazionale per la Fisica Matematica (GNFM) dell'Istituto Nazionale di Alta Matematica (INdAM).

Premi e riconoscimenti

- Premio annuale dedicato ai giovani studiosi per la migliore pubblicazione - Edizione 2018 - indetto dall'Università degli Studi di Perugia, per la pubblicazione *On the approximation of isochoric motions of fluids under different flow conditions*.

Didattica (periodo 7/11/2016 - 6/11/2019)

- a.a. 2019-20: *Meccanica Razionale* (10 CFU) - Laurea Triennale in Ingegneria, Università degli Studi di Perugia.
- a.a. 2019-20: *Meccanica Superiore* (6CFU) - Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Perugia.
- a.a. 2018-19: *Meccanica Superiore* (6CFU) - Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Perugia.
- a.a. 2017-18: *Meccanica Superiore* (6CFU) - Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Perugia.
- a.a. 2016-17: *Meccanica Razionale* (6CFU) - Laurea Triennale in Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Perugia.

Supervisione studenti

Studenti di dottorato

- Supervisione dell'attività di ricerca di B. Al Ghabshi (School of Mathematics and Statistics della University of Glasgow) riguardante gli effetti della curvatura estrinseca nei gusci nematici (Gennaio 2017 - oggi).

Studenti magistrali (il cui lavoro di tesi è stato svolto interamente o in parte nel periodo 7/11/2016 - 6/11/2019)

- Andrea Valentini, con tesi dal titolo *Torsion tests and mathematical modelling of the elastic behaviour of soft materials* discussa il 21 Settembre 2019.
- Emanuele Testa, con tesi dal titolo *Simple shear tests and mathematical modelling of the elastic behaviour of soft materials* discussa il 24 Ottobre 2019.
- Andrea Giovannini, con tesi dal titolo *Mechanical characterization of scalp tissue under compressive loadings* discussa l'11 Giugno 2020.

Perugia, 26 Agosto 2020

Prof. Luigi Vergori





UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRONICA
E DELL'INFORMAZIONE
VIA G. DURANTI, 93 - 06125 PERUGIA
TEL. 075.5853653 - FAX 075.5853654

All. 1 - punto odg n. 1

Al consiglio di Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Perugia

Perugia, 15 Luglio 2020

Oggetto: Relazione sintetica sull'Attività didattica e di ricerca scientifica svolta dal ricercatore universitario Dott. Vincenti Gatti Roberto (settore scientifico-disciplinare ING-INF/02) nel triennio Novembre 2016 - Novembre 2019.

Si trasmette la relazione sintetica sull'attività didattica e di ricerca scientifica svolta nel triennio Novembre 2016 - Novembre 2019.

Cordiali saluti,

Roberto Vincenti Gatti

Vincenti Gatti Roberto

1. Attività didattica

ANNO ACCADEMICO 2017/2018

- Titolare di un modulo del corso di “Antenne” (14 ore)
- Titolare del corso di “Sistemi a microonde e radiofrequenza per l’aerospazio” (72 ore)

ANNO ACCADEMICO 2018/2019

- Titolare del corso di “Sistemi a microonde e radiofrequenza per l’aerospazio” (72 ore)

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

- Titolare del corso di “Sistemi a microonde e radiofrequenza per l’aerospazio” (72 ore)

RELATORE IN TESI DI LAUREA

- “Modelling, simulation and design of novel FMCW radar architectures based on frequency steering phase array antennas” (Alessandro Spigarelli, A.A. 2017/2018)
- “Design of an L-Band circularly polarized antenna for a telecommunication satellite” (Simone Mencarelli, A.A. 2018/2019)

2. Attività scientifica

- **ANTENNE E COMPONENTI ATTIVI PER PAYLOAD DI CUBESAT IN BANDA KA**
Bibliografia: [1c,2c,2r,3r,9r]

La tecnologia dei cubesat si è evoluta a partire da piattaforme estremamente limitate in termini di funzionalità, ma di grande semplicità di sviluppo, fino a diventare di fatto uno standard applicato a missioni a basso costo e soprattutto per satelliti di piccole dimensioni. Per quanto riguarda la piattaforma cubesat, la tendenza attuale è quella di utilizzare componenti COTS il più diffusamente possibile con conseguente creazione di database di componenti che sono in grado di sostenere la dose di radiazione per missioni in orbita e interplanetarie. Per quanto riguarda il progetto di competenza ci si limiterà in una prima fase a piattaforme di cubesat in orbita bassa (LEO). Questo renderà la progettazione meno complessa grazie ai requisiti meno stringenti di resistenza a radiazione e temperatura previsti in orbita LEO. Le prospettive attuali del comparto cubesat si possono suddividere nelle prospettive di progettazione della piattaforma e in quelle dei possibili payload a bordo. Per quanto riguarda la piattaforma si prevede una sempre più spinta miniaturizzazione con l'obiettivo ultimo di integrare l'intera elettronica di bordo in un unico System on chip o in una board con un numero estremamente ridotto di componenti. I data links sono il cardine di una missione cubesat e possono essere suddivisi in telemetria e trasmissione dati. Per quanto riguarda la telemetria le antenne hanno raggiunto una configurazione standard basata su dipoli incrociati, ma sono state proposte anche configurazioni di tipo quadrifilar helical antenna (GOM space) e patch. Queste configurazioni innovative permettono una banda di trasmissione più ampia e dunque una maggiore capacità del canale trasmissivo nelle bande di frequenza UHF S, X, Ku e Ka. Un'importante prerogativa delle antenne per telemetria e telecontrollo è la capacità di operare indipendentemente dall'assetto del satellite, così da consentire il controllo dello stesso in ogni condizione. Al contrario le antenne di trasmissione dati, essendo fortemente direttive, impongono la presenza di un sistema di determinazione e di controllo di assetto. Solitamente sono costituite da strutture, stivate a bordo del satellite che devono essere in grado di dispiegarsi una volta raggiunta l'orbita operativa. Quando l'antenna è un riflettore parabolico la struttura più utilizzata è quella del tipo "meshed reflector", in cui il riflettore è segmentato in modo da permetterne lo stoccaggio in un ridotto volume. In alternativa possono essere impiegate antenne ad array (quando il guadagno richiesto non è troppo elevato) o antenne a reflectarray, in cui il riflettore principale è ancora una volta suddiviso in porzioni più piccole che possono essere ripiegate l'una sull'altra mediante opportuni meccanismi. Per le antenne a reflectarray sono state inoltre proposte soluzioni basate su membrane sottili, in cui il meccanismo di deployment sfrutta strutture gonfiabili o molle a nastro. Nel prossimo futuro si ritiene che l'utilizzo di antenne fortemente direttive sarà necessario soltanto nelle missioni deep space, tipicamente di carattere scientifico. Un interessante recente esempio di impiego ben riuscito di cubesat in un tale scenario è fornito dai due satelliti Mars Cube One (MarCO), lanciati dalla NASA in concomitanza con la missione InSight per testare una forma di supporto alle comunicazioni con la Terra durante la fase di atterraggio di una sonda, in particolare nei "minuti di terrore" durante i quali solitamente non si riesce a comunicare. I due veicoli sono serviti da ponti radio per le trasmissioni della sonda InSight durante la discesa su Marte, che altrimenti non avrebbero potuto raggiungere la Terra. Al momento si stanno sviluppando applicazioni di trasmissione intersatellitare in cui il cubesat comunica con sistemi dati satellitari come IRIDIUM o Globalstar. In questa modalità il satellite o il centro di controllo possono scambiare brevi messaggi (analoghi a SMS per le reti terrestri) o stabilire delle connessioni dati a basso bit rate. Questa modalità ha il vantaggio di una copertura globale della missione senza la necessità di una stazione di terra. In questo ambito si prevede che con il dispiegamento delle nuove reti globali satellitari previste da compagnie come SpaceX (Spacelink) o Airbus (Oneweb), sarà possibile ottenere collegamenti dati a banda larga globali anche per le missioni LEO e MEO

facendo uso a bordo del satellite di semplici antenne a basso guadagno e di conseguenza dalle dimensioni molto ridotte. Questa opportunità fornirà una spinta ancora maggiore per lo sviluppo di piattaforme cubesat di osservazione e per applicazioni industriali. Le attività svolte in questo ambito si sono concentrate su due filoni: 1) la progettazione e lo sviluppo di transponder dalle elevate prestazioni che impiegano soltanto componenti COTS e di conseguenza dai costi contenuti, e dalle dimensioni compatte tali da rendere questi apparati compatibili con piattaforme CUBESAT. 2) progettazione di antenne stampate dalle dimensioni compatte ma al contempo dalle elevate prestazioni sia in termini di guadagno, efficienza e banda, ma anche in termini di riconfigurabilità.

- **COMPONENTI PER BFN IN TECNOLOGIA GUIDA D'ONDA RIBASSATA O SINGLE-RIDGE PER SISTEMI RADAR E DI TELECOMUNICAZIONE.**

Bibliografia: [1r,5r,6r,7r,10r]

La tecnologia in guida d'onda è ampiamente utilizzata in tutti i sistemi a radiofrequenza in cui siano richieste elevate prestazioni in termini di perdite di inserzione e di efficienza di radiazione. In particolare in sistemi radar e telecomunicazione avionici dove le dimensioni e i pesi degli apparati devono soddisfare stringenti requisiti la tecnologia in guida rappresenta la soluzione più efficace. Inoltre, in particolare per i sistemi radar, anche il power handling è un parametro fondamentale che rende molto spesso non praticabili implementazioni in tecnologia a circuito stampato. Per quanto riguarda le antenne in guida d'onda le soluzioni implementative più comunemente adottate sono basate su due diverse tipologie di elemento radiante: guide d'onda fessurate o schiere di horn. Per alcune applicazioni strategiche è inoltre richiesta l'implementazione di antenne in grado di operare simultaneamente in doppia polarizzazione (V/H o RHCP/LHCP). I problemi associati a tale tipologia di specifiche si riflettono essenzialmente sull'architettura della rete di alimentazione (BFN) e sulla geometria della schiera. Per sfruttare in modo efficiente l'apertura è necessario realizzare elementi radianti in grado di irradiare simultaneamente in due polarizzazioni ortogonali o in alternativa interallacciare due schiere planari in singola polarizzazione in modo che queste condividano la stessa apertura. In questi casi la rete di alimentazione non può però essere realizzata con una classica guida d'onda rettangolare in quanto gli ingombri associati a tale linea di trasmissione sono incompatibili con il passo di interallacciamento richiesto (solitamente dell'ordine di mezza lunghezza d'onda). Per questo motivo diventa strategico lo sviluppo di componenti ed elementi radianti in tecnologia ridge-waveguide, che offre le stesse prestazioni elevate in termini di perdite di inserzione e power handling tipiche di una guida d'onda rettangolare standard ma al contempo consente una miniaturizzazione delle dimensioni della rete di alimentazione, consentendo agevolmente l'interallacciamento di due schiere in polarizzazione ortogonale. Questo tema e questa tecnologia sono scarsamente trattate in letteratura e non sono ad oggi disponibili soluzioni efficaci per risolvere i vari problemi tecnici associati ad una tale progettazione. Per questo motivo in questo ambito, l'attività di ricerca svolta si è incentrata nello sviluppo e progettazione dei componenti chiave di una rete di alimentazione in guida ridge (giunzioni a T sul piano E, giunzioni a T sul piano H, transizioni guida ridge-guida rettangolare) e sullo sviluppo e progettazione di opportuni elementi radianti in grado di irradiare polarizzazioni lineari o circolari a banda larga con ingombri ridotti, compatibili con una disposizione a chiere interallacciate.

- **COMPONENTI IN TECNOLOGIA SIW PER RETI DI ALIMENTAZIONE DI ANTENNE PLANARI**

Bibliografia: [4r, 8r]

Le comunicazioni mobili in banda Ku (SATCOM) sono sempre più di interesse a livello globale e offre con un mercato dalle enormi potenzialità, data la moltitudine di possibili applicazioni sia civili che militari. L'antenna e la relativa rete di alimentazione rappresentano uno degli elementi critici e vitali di qualsiasi sistema di comunicazione di questo genere, soprattutto in contesti di mobilità, in cui l'aerodinamicità e la ridotta disponibilità di superfici e volumi impone l'impiego di antenne dal profilo piatto ad elevata efficienza e capaci di riconfigurare il puntamento elettronicamente in modo da

inseguire il satellite durante gli spostamenti del mezzo su cui è installata. L'utilizzo di antenne piatte è inoltre richiesto anche per motivi estetici o di ridotto impatto ambientale, esigenza questa che fornisce un'ulteriore stimolo alla ricerca di soluzioni che permettano l'implementazione di tali tipi di antenne. Per l'implementazione di questo tipo di antenne, per le quali è richiesta una larghezza di banda notevole, un controllo della polarizzazione, dei guadagni molto elevati, rappresenta di per sé una sfida dal punto di vista puramente elettromagnetico. A questo si aggiunge la necessità di rendere tali apparati realizzabili con costi contenuti e compatibili con lo sviluppo di prodotti innovativi che siano competitivi sul mercato. L'attività svolta è stata incentrata sulla ricerca ed implementazione di componenti in tecnologia SIW (Substrate Integrated Waveguide) per la realizzazione di reti di alimentazione compatte, dal ridotto costo fabbricativo, a banda larga e dalle elevate prestazioni RF.

- **SISTEMI RADAR A BORDO DI DRONI PER LA MISURA DELLA VELOCITÀ SUPERFICIALE NEI FIUMI (ATTIVITÀ SVOLTE NELL'AMBITO DEL PROGETTO PRIN2007 "ENTERPRISING").**

Bibliografia: [11r]

The overall objective of the project is the development of advanced technologies and innovative methods that, using radar, biological sensors, hydrodynamic models and algorithms, allow, for the first time, to predict the river flows also during high floods as well as the impact of hydrodynamic processes on the river biotic communities. The project attempts to respond to a twofold challenge, the first is that raised by World Meteorological Organization to identify advanced techniques for discharge monitoring at high flow of interest to control extreme events and the second is that of the European Biodiversity Strategy to 2020 (EU COM,0244 Final;2011) for a better protection of ecosystems and services they provide along with contribution to averting global biodiversity loss. To this end, ENTERPRISING will bring together scientists with different expertise to develop state-of-the-art operational tools for an innovative monitoring technology of key hydraulic variables that will be tested on field and by laboratory experiments, and whose measurements will initialize an enhanced modeling of hydrodynamic processes and hydraulic stressors for biotic ecosystems. Multiple innovative elements are included, as the project tackles interactions between fluvial dynamic and ecosystems in different climate environment and through a comprehensive approach based on innovative and synergistically connected activities able to provide an effective response to the minimum hydrodynamic conditions so that ecosystem quality holds. The main objectives of the project are:

1) To develop an innovative technology for monitoring river hydraulic key variables also during high floods and ecosystems sustainability, to be tested in field and laboratory. For river flow monitoring ENTERPRISING intends to develop low-cost, miniaturized radar sensors which may be onboard drones, for the no-contact monitoring of river hydrodynamic parameters like surface velocity and water level, which initialize a hydrodynamic modeling. The sensor will be operational at a fixed station and onboard of a drone prototype, so that the monitoring can be also addressed for inaccessible river sites and for any flow condition. The merging of radar measurements with those by conventional techniques will allow, on one hand, to test the equipment in different river context and flow conditions and, on the other hand, to improve the data robustness. For the monitoring of biotic community, the project will explore the suitability of mussel behavior responses as a biomarker for the detection of hydro-morphological impacts on riverine communities. For that, it will be used a high-frequency non-invasive valvometry, an innovative online biomonitoring technique consisting in continuously monitoring the bivalves' opening and closing cycles to detect behavioral disturbances associated with the environment. In these invertebrates, any stress or stimulation leads to a significant increase in valve activity. Halls sensor technology and software able to collect valvometric measurements with very high resolution in real-time can be adopted. The recording of gap changes provides evidence of a mussel's response to disturbances as the closing of a mussel's shells is an indicative evasion behavior. Experiments in laboratory will be performed by varying the hydraulic stressor and in field at gauged river sites where discharge is continuously monitored also with radar sensors.

2) To identify and model the interaction mechanism between hydrodynamic processes and biotic communities; The target consists in identifying how river hydro-morphological changes may have impact on biotic communities. This will be addressed by analyzing the hydraulic stressors for biotic ecosystems to find significant correlations between biotic [and specifically mussels] behavioral response

and hydrodynamic parameters such as discharge and velocity data. For that, it will be investigated the existence of an entropy constraint that links global flow parameters, in particular liquid and solid discharges, and flow section shape and area, to local quantities, easy to be measured in any natural streams, as the surface velocity and the water level, both provided by the developed no-contact radar sensor. The analysis will refine the entropy model by a high resolution three-dimensional (3D) numerical modeling able to provide a more accurate spatial distribution of velocity field also close the sidewalls and channel bottom, where the impact on ecosystems may be significant. In this way, the detection limits for hydraulic stressors and the exposure time needed to elicit an alarm response will be assessed, opening the way to understand the sensitivity of a sentinel-based behavioral system and its applicability to water monitoring.

3) To develop a biological early warning system (BEWS) which is based on the different responses of organisms to hydraulic stressors. The last target concerns the analysis of effects of hydrodynamic processes on river ecosystem communities such as also fostered by the EU Directive Habitat (92/43/CEE) in different environments. For that, based on surface velocity and water levels measured by the developed radar technology, the main hydrodynamic stressors will be identified and the valvometric responses will be tested as a function of changes in flow velocity, water level, sediment transport and particulate suspended solids. To select the most suitable indicator for a wide range of hydraulic regimes, the sensitivity of three native Italian species with different habitat requirements will be compared.

As regards the rivers monitoring, the project intends to overcome the element of high uncertainty in estimating the knowledge of flow velocity spatial distribution for high flow conditions, because of the operational difficulty of velocity sampling in cross-sectional flow area. Modern and accurate instruments, such as the Acoustic Doppler Current Profiler [ADCP], could be also used but they are limited in too shallow water flows and, likewise conventional techniques, in high floods and high sediments transport. Even, image-based techniques [e.g. Large Scale PIV-LSPIV, PTV] applied to measure bi-dimensional flows field by using particles present/inseminated in the flow and able to identify the turbulent structures development, may be not suitable for measurements during scarce seeding, illumination conditions, and/or for any overnight floods. For the local monitoring of surface flow velocity and water level, the no-contact technology based on radar sensors may enhance the monitoring during high flows and overcoming the overnight matter as well. To measure the surface velocity, pure Doppler radars are exploited, whereas, for the measurement of the water level, Frequency Modulated Continuous Wave radar altimeters [FMCW] are applied. These sensors operate in fixed monitoring stations but portable devices are also available. Miniaturized, low-cost radar sensors are nowadays possible, thanks to the progress of silicon microelectronic technologies and to the growth of the automotive market and these make them appealing for applications onboard of drone thus making the monitoring of inaccessible fluvial sites. In particular, 24-GHz [short-range] and 77-GHz [long-range] sensors have already been implemented as single-chip solutions and are starting equipping medium-class cars. These systems are typically equipped with compact planar antennas. An original one is the adoption of miniaturized radars on-board drones to measure hydrodynamic river parameters.

As regards the ecosystems monitoring, an advanced technology is based on-line biomonitoring systems, that use behavioral and/or physiological stress responses of caged test organisms [mussels] exposed in situ either in a bypass system or directly instream. One of the more successful is the valvometric technique that employs bivalves as sentinel organisms, because of their sensitive, immediate responses to physico-chemical stressors which could threat the ecosystem biota. Behavioral parameters are 10–100 times more sensitive than survival parameters, and their measurements are both economical and practical. Since the first mussel monitors applied in 1992 on the River Rhine in Germany, this method has been increasingly applied in sites in Europe and in Italy, on the Po River upstream of water treatments plants. Finally, it is worth noting that, whereas high-flow conditions was shown to put a strain on invertebrates, most literature studies focus on low-flow conditions, for which measures can be easily performed. The use of no-contact technologies allow to extend the analysis of hydro-morphologic implications on riverine biotic ecosystems also to otherwise prohibitive high-flow conditions. As far as hydro-morphological processes are concerned, the understanding of flow turbulent processes governing local forces on boundaries and transport processes of mass, momentum, sediments and biological matter is of paramount importance to identify the hydraulic stressors for ecosystems. This is one of the great

challenges of modern eco-hydraulic research. The key role of secondary currents over three-dimensional bedforms was shown, highlighting the deviation of flow from the classical logarithm behavior because of the velocity-dip phenomenon.

In terms of flow monitoring, despite the technology has made progress, lightweights miniaturized radar sensors, are still not available as off-the-shelf products. Their development could have an enormous impact in estimating the hydrodynamic processes by refined hydraulic models initialized from the surface velocity and water level measurements provided by the radar. For that, it will be leveraged the FMCW-Doppler architecture in order to feature a velocity-range separation capability. For that, the project will try to answer to several problems still open mainly for the monitoring using drone. The first problem is associated to the significant disturbance coming from the propellers. The enhanced idea is to distinguish between the Doppler effect coming from the nearby objects [propellers] to that due to far objects (river surface) and this can be done by a simultaneous Doppler-range measurements. The second problem is the velocity monitoring across the river that will be solved by developing an electronic scanning antenna for which suitable design approaches will be devised in order to apply them to low-cost miniaturized radar systems. The third open problem is the determination of the absolute water level and considering that a centimeter-level accuracy cannot be achieved due to the limited drone's GPS accuracy, it will be exploited the electronic scanning antenna to simultaneously measure the height of the drone with respect to both water surface and ground level. All these innovations will lead to a completely original sensor that is neither comparable to the present state-of-the-art, nor to any product available on the market. As regards the monitoring of impacts of hydro-morphological changes on biotic community, we focus on freshwater mussels monitoring, the most heavily impacted faunal group, which extirpation likely will alter ecosystem functioning. For that, a step forward will be the testing in field at river gage sites and in laboratory of three sub-lethal behavioral endpoints, with the aim of adapting the use of animal-attached remote-sensing technology to assess of hydrological ecosystem impacts and to define the "vital minimum outflow" for safeguarding communities and ecosystem services. The proposed new way to investigate the hydrodynamic processes by identifying the turbulence structures by an entropy law for whatever flow condition will help to understand the transport mechanism of substances and sediments linked to exchange between the free stream and the near-bed, overcoming the need of detailed measurements in the cross-sectional flow area. Indeed, the novelty of the approach is to allow the estimation of the velocity distribution, the effect of secondary circulation and turbulent intensity distribution, and consequently the processes of transport and dispersion, just starting from the measurement of the surface-velocity and water level only. This is of paramount importance for identifying an entropy constraint linking global flow parameters, in particular the liquid and solid discharges, and flow section shape and area, to local quantities, easy to be measured in any natural streams, e.g. the velocity at the free surface and the flow depth. The goal has an overwhelming and indisputable worth, because the evaluation of sediment-transport discharge is still a challenging, time-consuming and expensive undertaking, still far from being pursued, in small creek, almost impossible in large- drainage and chief regional rivers. Furthermore, 3D mathematical representation of velocity distribution affected by bed-forms and grain textures, will refine the entropy model performance in particular in the zones of high or small entraining stresses around the grain paving the bed and banks. Another advances in knowledge concerns the assessment of the different responses of organisms to hydraulic stressors basic for the development of a Biological Early Warning System (BEWS). BEWS is already used for the continuous control of water chemical pollution, but for an effective ecosystem monitoring and management also the hydromorphological disturbance must be targeted. To improve our capability to detecting impacts of hydro-morphological changes, we focus on freshwater mussels, the most heavily impacted faunal group, which whose extirpation likely will alter ecosystem functioning. The novelty is also identify possible implications of near-wall flow field characteristics for mussel behavioural responses.

3. Progetti nel periodo 2017-2019

- ENTERPRISING (“IntEractions between hydrodyNamics and bioTic communities in fluvial Ecosystems: advancement in the knowledge and undeRstanding of PROcesses and ecosystems sustaInability by the development of novel technologieS with field monitoriNg and laboratory testinG”, PRIN 2017)

Durata: 36 mesi

Contributo MIUR: € 568.000,00

Conclusione contratto: Dicembre 2021 (stimata)

- Responsabile del contratto di di ricerca dal titolo "Broadband C, X and Ku-band phased array antennas for avionic radar and data-link applications" stipulato tra il Dipartimento di Ingegneria e la ditta Elettronica Aster S.p.A.

Durata: 24 mesi

Importo: € 275.000,00 + iva

Conclusione contratto: Dicembre 2017

- Responsabile del contratto di di ricerca dal titolo "Design of a Compact Rotman Lens" stipulato tra il Dipartimento di Ingegneria e l'Agenzia Spaziale Europea (ESA).

Durata: 4 mesi

Importo: € 10.000,00

Conclusione contratto: Marzo 2017

- Responsabile del contratto di di ricerca dal titolo "Antenne Multiruolo Innovative per applicazioni avioniche" stipulato tra il Dipartimento di Ingegneria e la ditta Elettronica Aster S.p.A.

Durata: 36 mesi

Importo € 400.000,00 + iva

Conclusione contratto: Dicembre 2021 (stimato)

4. Pubblicazioni nel periodo 2017-2019

CONFERENZE INTERNAZIONALI

- [1c] A. Cuttin , F. Alimenti , F. Coromina , F. Dogo, M. Fragiaco, R. Vincenti Gatti, G. Gotti, E. Pagana, F. Pelusi, F. Pergolesi, P. Petrini, A. Gregorio, "On the development of a Ka-band transceiver for cubesat satellites," 23rd Ka and Broadband Communications Conference and the 35th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, ICSSC 2017, Trieste, Italy, 16-19 Oct 2017, ISSN: 25736124.
- [2c] A. Cuttin, F. Alimenti, F. Coromina, E. De Fazio, F. Dogo, M. Fragiaco, P. Gervasoni, G. Gotti, A. Gregorio, P. Mezzanotte, E. Pagana, F. Pelusi, F. Pergolesi, P. Petrini, L. Roselli, R. Vincenti Gatti, "A Ka-band Transceiver for Cubesat Satellites: Feasibility Study and Prototype Development," 48th EuMC, *European Microwave Conference*, Madrid, Spain, 23-28 Sept 2018.

RIVISTE INTERNAZIONALI

- [1r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, "Single-ridge waveguide T-junctions for compact multilayer beam forming networks," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, Volume 27, Issue 1, Jan. 2017, e21056, DOI: 10.1002/mmce.21056.
- [2r] G. Buttazzoni, M. Comisso, A. Cuttin, M. Fragiacomò, R. Vescovo, R. Vincenti Gatti, "Reconfigurable phased antenna array for extending cubesat operations to Ka-band: Design and feasibility," *Acta Astronautica*, Volume 137, August 2017, Pages 114-121, ISSN 0094-5765, DOI: 10.1016/j.actaastro.2017.04.012.
- [3r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, "A Novel Meander-line Polarizer Modeling Procedure and Broadband Equivalent Circuit," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Nov. 2017, Volume: 65, Issue: 11, pp. 6179 – 6184, DOI: 10.1109/TAP.2017.2754471.
- [4r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, "Hermetic Broadband 3-dB Power Divider/Combiner in Substrate Integrated Waveguide (SIW) Technology," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, June 2018, Volume: 66, Issue: 6, pp. 3048-3054, DOI: 10.1109/TMTT.2018.2825347.
- [5r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, "A dual circularly polarized slot-fed horn array antenna with linear polarization-tracking feature," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 2018, e21480, DOI: 10.1002/mmce.21480.
- [6r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, M. Dionigi, "In-line Stepped Ridge Coaxial-to-Rectangular Waveguide Transition with Capacitive Coupling," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 2018, e21626, DOI: 10.1002/mmce.21626.
- [7r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, M. Dionigi, "X-band right-angle coaxial-to-single ridge waveguide compact transition with capacitive coupling," *IET Electronics Letters*, Volume 55, Issue 2, 24 January 2019, Pages 103-105, DOI: 10.1049/el.2018.7088.
- [8r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, M. Dionigi, "Broadband Right-Angle Rectangular Waveguide to Substrate Integrated Waveguide Transition with Distributed Impedance Matching Network," *MDPI Applied Sciences* 2019, 9, 389, DOI: 10.3390/app9030389.
- [9r] F. Alimenti, P. Mezzanotte, L. Roselli, V. Palazzi, S. Bonafoni, R. Vincenti Gatti, L. Rugini, G. Baruffa, F. Frescura, P. Banelli, F. Bernardi, F. Gemma, G. Nannetti, P. Gervasoni, P. Glionna, E. Pagana, G. Gotti, P. Petrini, F. Coromina, F. Pergolesi, M. Fragiacomò, A. Cuttin, E. De Fazio, F. Dogo, A. Gregorio, "K/Ka-Band Very High Data-Rate Receivers: A Viable Solution for Future Moon Exploration Missions," *MDPI Electronics* 2019, 8, 349; DOI: 10.3390/electronics8030349.
- [10r] R. Vincenti Gatti, R. Rossi, M. Dionigi, A. Spigarelli, "An X-band compact and low-profile waveguide magic-T," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 2019, e21854, DOI: 10.1002/mmce.21854.
- [11r] F. Alimenti, S. Bonafoni, E. Gallo, V. Palazzi, R. Vincenti Gatti, P. Mezzanotte, L. Roselli, D. Zito, S. Barbetta, C. Corradini, D. Termini, T. Moramarco, "Non-Contact Measurement of River Surface Velocity and Discharge Estimation with a Low-Cost Doppler Radar Sensor," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Feb 2020, PP(99):1-13, DOI: 10.1109/TGRS.2020.2974185.

5. Attività organizzativa ed editoriale per riviste, congressi ed organizzazioni di divulgazione scientifica

- Attività di revisione per le seguenti riviste internazionali:

- IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques (T-MTT)
- IEEE Trans. Antennas and Propagation (T-AP)
- IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters (AWPL)
- IEEE Transactions on Vehicular Technology (TVT)
- Electronic Letters (IET Journals)
- International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering (Wiley)
- EuMA International Journal of Microwave and Wireless Technologies

- Attività di revisione per gli atti delle seguenti conferenze internazionali:

- IEEE International Microwave Symposium (MTT-S) (membro dal 2009 del Technical Program Review Committee, SC-28, Arrays as Antennas and Power Combiners)
- IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (AP-S)
- EuMA European Microwave Conference (EuMC)
- EuCAP European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)

- Chairman delle seguenti sessioni in conferenze internazionali:

- Partecipazione come chairman di sessione al convegno IEEE MTT-S, International Microwave Symposium 2017, Sessione: WE1H, Passive Array Systems and Beam Formers, Date: Wednesday, 7th June 2017.
- Partecipazione come chairman di sessione al convegno IEEE MTT-S, International Microwave Symposium 2018, Sessione: WE2G, Phased Array Systems and Applications, Date: Wednesday, 13th June 2018.
- Partecipazione come co-chairman di sessione al convegno IEEE MTT-S, International Microwave Symposium 2019, Sessione: WH2C, Beamforming Architectures, Components and Calibration Techniques, Date: Thursday, 6th June 2019.

- Partecipazione a comitati editoriali di riviste e comitati tecnici di conferenze internazionali di riconosciuto prestigio:

- Membro del Technical Program Review Committee (TPRC) della conferenza internazionale International Microwave Symposium, Sub-Committee SC-28, Antenna Arrays and Integrated Beam Formers, dall'anno 2009.

- Chair del Technical Program Review Committee (TPRC) Sub-Committee SC-28 (Antenna Arrays and Integrated Beam Formers) per la conferenza internazionale International Microwave Symposium, dall'anno 2018.
- Guest Editor per lo Special Issue "Reconfigurable compact antennas and signal processing algorithms for smart wireless communication systems" per la rivista internazionale "International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering", Wiley Periodicals, Inc., dall'anno 2017.
- Membro della Editorial Board (Editor in Chief) per la rivista internazionale "International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering", Wiley Periodicals, Inc., dall'anno 2018.

Roberto Vincenti Gatti

Vincenti Gatti Roberto