



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia  
e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

**ACCORDO DI PROGRAMMA**  
**MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO - ENEA**  
**SULLA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO**

**PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2010**

Febbraio 2011

## INDICE

<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>AREA: GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE .....</b>	<b>7</b>
PROGETTO 1.3.2.A FISSIONE NUCLEARE: <i>METODI DI ANALISI E VERIFICA DI PROGETTI NUCLEARI DI GENERAZIONE EVOLUTIVA AD ACQUA PRESSURIZZATA .....</i>	<i>7</i>
PROGETTO 1.3.2.B FUSIONE NUCLEARE: <i>ATTIVITÀ DI FISICA E TECNOLOGIA DELLA FUSIONE COMPLEMENTARI AD ITER, DENOMINATE "BROADER APPROACH" .....</i>	<i>14</i>
<b>AREA RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA .....</b>	<b>31</b>
PROGETTO 3.2.1 <i>TECNOLOGIE "SMART" PER L'INTEGRAZIONE DELLA ILLUMINAZIONE PUBBLICA CON ALTRE RETI DI SERVIZI ENERGETICI E LORO OTTIMIZZAZIONE .....</i>	<i>31</i>

## PREMESSA

Il presente Piano Annuale di Realizzazione PAR 2010 è riferito alla seconda annualità dell'Accordo di Programma tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA stipulato in data 2 agosto 2010.

Il piano proposto è un piano annuale da 8 M€, con durata delle attività da dicembre 2010 a novembre 2011, non si sovrappone all'attuale Piano Annuale di Realizzazione 2008-09, iniziato ad ottobre 2010 e che terminerà a settembre 2011, ma viceversa procede in parallelo attraverso lo sviluppo di tre nuovi progetti di ricerca.

Il nuovo Piano può intendersi come un programma di raccordo con le attività di ricerca in corso nell'ambito del PAR 2008-2009, che inserisce anche la fusione nucleare tra i temi di ricerca e che consente anche un ulteriore passo in avanti verso il riallineamento temporale dei programmi della Ricerca di Sistema Elettrico.

Il Piano è articolato per attività di ricerca, obiettivi intermedi, costi e tempi di realizzazione.

## Quadro di riferimento

La stesura del nuovo Piano annuale di realizzazione ha tenuto conto dei seguenti riferimenti:

- gli indirizzi del Piano Triennale per la ricerca nell'ambito del sistema elettrico nazionale 2009-2011, approvato con decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 10 marzo 2009;
- il Decreto Ministeriale del 27 ottobre 2010 che approva il Piano Operativo Annuale (POA) per l'anno 2010 per la Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale. L'Art. 2 del decreto prevede 8 milioni di euro per il finanziamento del Piano annuale 2010 dell'Accordo di programma con ENEA, per attività relative alla razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica e allo sviluppo di conoscenze per l'utilizzo della fonte nucleare. Il POA 2010 stabilisce inoltre, al fine di ottemperare agli obblighi assunti dal nostro Paese in ambito europeo, un impegno nel settore della fusione termonucleare e in particolare nelle attività del "Broader Approach", programma di attività di ricerca e sviluppo di tecnologie avanzate di affiancamento del Progetto internazionale ITER;
- gli indirizzi programmatici espressi dalla Direzione Generale per l'energia nucleare, le energie rinnovabili e l'efficienza energetica del MSE e le indicazioni operative del Comitato di Sorveglianza dell'Accordo di Programma;
- il programma di ricerca in corso di cui al PAR 2008-09;
- le disposizioni previste dalla Legge Sviluppo del 23 luglio 2009 n.99. In particolare le attività sulla ricerca di sistema elettrico che saranno portate avanti, non si sovrappongono ma, viceversa, sono complementari a quelle che saranno definite e sviluppate a fronte dell'art.38 della suddetta Legge;
- la partecipazione nello sviluppo delle ricerche del sistema universitario nazionale, con esclusione delle attività sulla fusione, in quanto trattasi di attività definite a livello internazionale per le quali non è necessario il coinvolgimento di università italiane;
- uno stretto coordinamento con gli altri soggetti affidatari di attività di ricerca mediante accordi di programma, RSE e CNR, per evitare sovrapposizioni e massimizzare i risultati;
- l'obbligo che i risultati delle ricerche siano a totale beneficio dell'utente, trattandosi di accordi finanziati al 100% con risorse provenienti dalla tariffazione elettrica;
- l'importanza della "diffusione dei risultati" delle attività, attraverso l'individuazione di canali opportuni, tradizionali e non, per rendere disponibili i risultati ai principali fruitori oltre che al pubblico non specializzato.

## II PAR 2010

Il PAR 2010 è costituito da tre progetti di ricerca afferenti a due delle tre Aree prioritarie di intervento previste dal decreto:

### **Governo, Gestione e Sviluppo del Sistema elettrico Nazionale**

- ✓ Energia nucleare :
  - Fissione nucleare: Metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva alimentati ad acqua pressurizzata
  - Fusione nucleare: Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate "Broader Approach"

### **Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'Energia Elettrica**

- ✓ Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica:
  - Tecnologie "smart" per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione

L'area Governo del Sistema Elettrico comprende le attività relative allo sviluppo dell'energia nucleare sia da fissione che da fusione.

Le attività sulla fissione nucleare non sono un semplice ampliamento, né si sovrappongono a quelle già in corso nell'ambito del PAR 2008-09. Si tratta di ricerche avanzate nel campo dei reattori nucleari evolutivi, finalizzate allo sviluppo di competenze e capacità tecniche, utili per contribuire al rilancio dell'opzione nucleare in Italia.

Per quanto riguarda le attività sul Broader Approach, si tratta di ricerche di base sulla fisica e la tecnologia della fusione, finalizzate:

- alla realizzazione del magnete superconduttore, con incluse le casse di contenimento e le alimentazioni elettriche di una macchina Tokamak, denominata JT 60SA;
- alla progettazione e costruzione di un target per la produzione di neutroni su cui fluisce litio ad alta velocità;
- allo sviluppo di competenze teoriche e sperimentali sui materiali avanzati. In particolare è prevista la collaborazione della società partecipata FN per la produzione di composti ceramici in matrice e fibra di silicio.

L'Area del Risparmio energetico prevede attività relative all'efficienza energetica nell'illuminazione elettrica. Le attività previste si basano su quanto già sviluppato e/o in corso nei precedenti Piani Annuali e ne rappresentano una sostanziale evoluzione verso lo sviluppo di tecnologie innovative. In particolare saranno sviluppate nuove tecnologie "smart" per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici.

**Accordo di Programma MSE- ENEA**  
**Costo del PAR 2010 per principali voci (k€)**

AREA	ATTIVITÀ DI RICERCA		Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale	1.32.a	Fissione nucleare: Metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva ad acqua pressurizzata	13.280	930	0	70	0	1.000	2.000
	1.32.b	Fusione nucleare: Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate "Broader Approach"	10.990	750	3.860	90	300	0	5.000
<i>SUBTOTALE</i>			<b>24.270</b>	<b>1.680</b>	<b>3.860</b>	<b>160</b>	<b>300</b>	<b>1.000</b>	<b>7.000</b>
Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica	3.2.1	Tecnologie "smart" per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione	4.710	330	50	20	0	600	1000
	<i>SUBTOTALE</i>		<b>4.710</b>	<b>330</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>600</b>	<b>1000</b>
	<b>TOTALE</b>		<b>28.980</b>	<b>2.010</b>	<b>3.910</b>	<b>180</b>	<b>300</b>	<b>1.600</b>	<b>8.000</b>

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

---

<b>AREA:</b>	<b>GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE</b>
<b>Tematica di Ricerca</b>	<b>ENERGIA NUCLEARE</b>
<b>Progetto 1.3.2.a</b>	<b><i>Fissione nucleare: Metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva ad acqua pressurizzata</i></b>

---

## PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

### DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

**Metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva ad acqua pressurizzata**

### DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il progetto prevede un serie di attività di Ricerca finalizzate allo sviluppo di competenze e capacità tecniche per i reattori ad acqua pressurizzata di generazione evolutiva al fine di contribuire al rilancio dell'opzione nucleare in Italia.

Il contributo sarà mirato a:

- sviluppare competenze e strumenti per lo studio di impianti nucleari evolutivi, prendendo in considerazione aspetti di sicurezza e di prestazione;
- svolgere un ruolo di supporto alle Istituzioni pubbliche, in particolare al MSE e ASN, sulle tematiche legate al ritorno al nucleare: queste tematiche comprendono le scelte tecnologiche, le analisi di sicurezza, i siti d'installazione e il combustibile nucleare.

Si mira ad aumentare le conoscenze scientifiche nazionali al fine di riallineare le competenze tecnologiche e scientifiche rispetto allo scenario internazionale delle nazioni più avanzate, anche in previsione di una espansione del nucleare a livello mondiale.

Il prodotto finale dell'attività è costituito principalmente da studi e analisi, supportati da specifiche attività sperimentali.

### SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

A livello internazionale la situazione dei reattori evolutivi è, e sarà ancora per molti decenni, dominata dalla scelta di reattori ad acqua leggera in particolare di tipo pressurizzato. Si ritiene pertanto che anche in Italia debbano essere sviluppate e approfondite competenze orientate verso queste filiere. Le analisi e le verifiche saranno centrate su quelle tematiche che hanno portato a definire tali reattori come innovativi o evolutivi, anche alla luce delle raccomandazioni degli stakeholder (ad es. EUR Requirements) che hanno contribuito allo sviluppo di nuovi criteri di sicurezza.

Pertanto verranno approfonditi studi su:

- Nuovi sistemi digitali di controllo e protezione;
- Sistemi di sicurezza attiva e passiva;
- Combustibili avanzati/innovativi adatti alle suddette filiere, ad alto tasso di bruciamento (burn-up) e ridotta generazione di prodotti finali ad alta attività;
- Fenomenologia associata a transitori d'impianto estesi oltre i limiti deterministici di progetto.

## STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Le attuali tecnologie sono principalmente orientate verso reattori ad acqua pressurizzata (PWR). Esistono alcune filiere di probabile maggior successo in fase di costruzione e/o di progettazione in varie parti del Mondo, in maggioranza di tipo ad acqua pressurizzata.

Tali reattori rappresentano l'evoluzione tecnologica dei reattori già esistenti, a seguito dell'introduzione di migliorie volte essenzialmente alla riduzione della frequenza e delle conseguenze di incidenti severi sia di tipo interno che provenienti dall'esterno dell'impianto (p.es. fusione del nocciolo e relativa dispersione e raffreddamento), anche mediante importanti semplificazioni d'impianto - che parallelamente consentono tempi di realizzazione più brevi - nonché sistemi passivi di sicurezza ed emergenza. La riduzione dei tempi di costruzione è ottenuta anche ricorrendo ad un'ingegneria che consente la realizzazione di parti importanti in officina con semplificazione dell'assemblaggio in situ.

Preme sottolineare che le tecnologie sopra menzionate vedono coinvolte competenze e industrie manifatturiere italiane: ad esempio Ansaldo partecipa alla realizzazione di alcuni PWR oggi in costruzione in Cina in collaborazione con industrie estere, e altre industrie nazionali, quali ad es. Mangiarotti Nuclear, IBF ecc., forniscono componenti importanti e *piping* di rilevante impegno tecnologico alle realizzazioni nucleari al momento in corso.

## OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

Il progetto ha l'obiettivo finale di rendere disponibili conoscenze specialistiche e strumenti utili per la valutazione di tipo sia ingegneristico sia di sicurezza delle installazioni da realizzare in Italia. Si intende ripristinare le competenze interne ENEA per la ricostruzione di una capacità tecnica a supporto della realizzazione di nuove centrali nucleari in Italia.

Verranno condotti studi e ricerche riguardanti: componenti e sistemi d'impianto, con particolare riferimento alle funzioni di sicurezza e gestione sia attive sia passive; ciclo del combustibile e materiali strutturali; strumentazione "in core" e sistemi supervisione, controllo e protezione; dinamica di nocciolo di un reattore PWR.

Allo scopo ENEA prevede di utilizzare i propri impianti e attrezzature sperimentali, ovvero di avvalersi, quando del caso, di attrezzature in possesso delle Università con le quali l'ENEA collaborerà.

E' previsto inoltre un coordinamento con l'RSE, al fine di evitare sovrapposizioni e massimizzare i risultati; in questo ambito è previsto in particolare un gruppo di Lavoro, denominato "mille600", di cui ENEA è coordinatore, finalizzato alla realizzazione di una banca dati sugli impianti PWR.

## DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Il programma complessivo dell'attività "fissione nucleare: metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva ad acqua pressurizzata", che ricade nell'ambito più ampio del nuovo nucleare da fissione, prevede l'effettuazione delle seguenti macro-attività che, a loro volta, si articolano in attività elementari i cui obiettivi intermedi, per la presente annualità, sono riportati nel paragrafo "Elenco degli obiettivi intermedi":

- analisi delle nuove soluzioni impiantistiche relativamente a sistemi attivi e passivi di sicurezza e nuove soluzioni costruttive, tenendo conto della normativa recente in materia di realizzazioni nucleari;
- studio ed analisi di cicli di combustibile (aperti/chiusi) in relazione all'elevato burn-up previsto per i nuovi reattori già commercializzati e alla riduzione dei prodotti di fissione a lunga vita. Si condurranno inoltre attività di ricerca fondamentale e sperimentazione in laboratorio di tecniche avanzate di rivelazione neutronica;
- analisi della strumentazione di nuova concezione per misure neutroniche fini nel nocciolo e dei sistemi computerizzati per la supervisione, controllo e protezione d'impianto e relativi interfacciamenti tra le suddette funzioni;

- analisi delle tecniche e degli strumenti di calcolo più efficaci per l'analisi di possibili transitori di natura sia operativa che incidentale, per mezzo di indagini multifisica di neutronica, termoidraulica e termomeccanica tra loro accoppiate;
- analisi dei fenomeni osservabili in caso di una situazione transitoria dell'impianto estesa oltre i limiti deterministici di progetto, facendo riferimento anche a dati sperimentali disponibili e a valutazioni con l'uso di codicistica validata a livello internazionale.

Le attività proposte rappresentano sia un avanzamento delle attività già avviate nel PAR 2006-09 sia attività ex-novo relative ai reattori evolutivi ad acqua leggera e non si sovrappongono inoltre ad attività già proposte da RSE nel settore nucleare di attuale generazione.

Le spese per la realizzazione del Progetto riguardano principalmente spese di personale. Come già citato non sono previste spese per attrezzature e componenti in quanto si prevede di utilizzare impianti propri o in possesso dei partner universitari.

## ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2010

### A. Componenti e sistemi dell'impianto:

**Componenti e sistemi con funzioni di sicurezza e di gestione dell'impianto:** studio e predisposizione di test su componenti di particolare rilevanza e che debbono presentare elevati standard di affidabilità in termini di comportamento in fase di intervento, quali ad es Valvole di non ritorno e valvole di depressurizzazione comandata ed automatica; analisi del comportamento in esercizio di nuovi componenti integrati (tubazioni realizzate in unico forgiato e simili). Le attività saranno affiancate da studi approfonditi di modellistica, di simulazione di transitori di funzionamento e analisi di dati sperimentali già disponibili per la validazione dei modelli impiegati negli appositi codici di calcolo, quali ASTEC e MELCOR. Sviluppo di metodologie di qualificazione dei materiali e dei procedimenti di saldatura per componenti di centrali nucleari armonizzate agli standard internazionale (ASME, ISO) e a codici nucleari specifici (RCC-MX). Analisi termomeccanica, mediante il codice CAS3M e validazione nell'ambito di progetti europei (NESC7), dell'influenza del fenomeno WPS (Warm-PreStressing) sui materiali strutturali e sul vessel, volte a dimostrare la possibilità di estendere la lifetime del vessel rispetto ai limiti attuali (con implicazioni sulle procedure di licensing, sulla base della validazione dell'effetto WPS che comporta un incremento della resistenza a frattura fragile.

**Sistemi attivi e passivi:** impostazione di uno studio esaustivo dei sistemi di sicurezza attivi e passivi volti a garantire sia l'integrità del nocciolo sia il raffreddamento e l'integrità del contenimento. Verranno condotti altresì studi miranti ad indagare e valutare le caratteristiche di maggior sicurezza intrinseca dei reattori di prossima costruzione. Le attività saranno effettuate tramite modellazione di sistemi passivi e attivi per il raffreddamento del contenimento e per la rimozione del calore residuo.

*Risultati/Deliverable:* Rapporto su programma di test di grossi componenti d'impianto e risultati delle simulazioni SW. Rapporto su analisi di impianti dotati di sistemi di sicurezza passivi.

*Principali collaborazioni:* Università di Roma "La Sapienza", Università di Napoli "Federico II", Università di Bari

*Durata:* dicembre 2010 - novembre 2011

### B. Studi sul combustibile e materiali strutturali

**Metodi di progettazione:** sviluppo metodi di progettazione di combustibili ad alto burn-up per i reattori di III Generazione (UOX alto arricchimento, MOX, Inert Matrix), mirati all'analisi di prestazioni e comportamento termomeccanico in reattore.

**Aspetti di back-end nel ciclo combustibile:** messa a punto di tecniche di processi di ritrattamento del combustibile esausto, al fine di minimizzare i prodotti a fine vita ad alta attività e recuperare materie prime ulteriormente sfruttabili: verranno approfonditi i processi che attualmente sembrano maggiormente promettenti per rimpiazzare l'originale metodo PUREX; individuazione di facilities da attrezzare presso ENEA e progetto di massima delle utilities e degli interventi infrastrutturali necessari per avviare prove di ritrattamento: in particolare sarà necessario concentrare l'indagine su attrezzature sperimentali e procedure operative che permettano di lavorare in ambiente ostile (alte dosi e alta attività).

**Processi nucleari innovativi:** attività di ricerca fondamentale e sperimentazione in laboratorio su nuovi processi finalizzati alla trasmutazione degli elementi radioattivi a lunga vita. Si esaminerà inoltre la fattibilità per la realizzazione di nuovi rivelatori per sorgenti neutroniche pulsate anisotrope e a spettro variabile.

Risultati/Deliverable: Rapporto su combustibili innovativi e relativi cicli. Rapporto sui processi di ritrattamento utilizzabili e progetto di massima di un impianto pilota. Rapporto su nuovi processi di fissione e fattibilità per rivelatori di sorgenti neutroniche

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Politecnico di Milano, Università di Pisa "S. Pietro a Grado", Università di Ancona

Durata: dicembre 2010 - novembre 2011

### C. Studio sulla strumentazione di nocciolo e simulazione:

**"In core instrumentation":** analisi e studio di nuova strumentazione "in core" per la determinazione fine del flusso neutronico all'interno del reattore; eventuali realizzazioni di prototipi da verificare e testare anche con utilizzo di reattori di ricerca TRIGA e TAPIRO. Verranno progettati, attraverso l'uso di codici avanzati di modellazione di nocciolo, nuove tipologie di rivelatori di neutroni ad alto flusso per reattori PWR.

**Strumentazione di supervisione, controllo e protezione:** analisi delle prestazioni dei sistemi di Supervisione, Controllo e Protezione con particolare riguardo alla loro interconnessione ai fini della garanzia di corretto funzionamento sia in fase di normale esercizio, sia in fase di intervento di emergenza. Verranno effettuati studi miranti a verificare l'assenza di interferenze negative tra i sistemi digitali di protezione e controllo, anche tenendo conto del SW utilizzato per la loro implementazione. Inoltre saranno condotte analisi sui limiti di Simulatori attuali sia ingegneristici che di addestramento a i fini di supporto alla progettazione, verifica e validazione dei sistemi digitali di controllo ed addestramento di operatori di impianto. Impiego di metodologie sistematiche e teoriche per la validazione formale delle procedure di gestione dell'impianto

**Analisi dell'integrazione tra i sistemi d'impianto:** verranno condotte analisi miranti a valutare il comportamento integrato dei vari sistemi d'impianto. Si analizzerà il mutuo comportamento tra la dinamica neutronica, i circuiti termoidraulici di reattore (primario, circuiti di emergenza, *ultimate heat sink*, ecc.), i sistemi computerizzati di controllo e l'integrazione tra di essi. Tali analisi verranno condotte facendo riferimento ai simulatori ingegneristici attualmente disponibili a livello internazionale, ed in vista di elementi innovativi, quali interazione tra impianto e territorio, rappresentazioni in *virtual reality* e velocizzazione dei simulatori per realizzare sistemi di supporto operatore.

Risultati/Deliverable: Proposte di strumenti innovativi per misura di flussi in core; Rapporto di analisi delle prestazioni dei sistemi computerizzati di Supervisione, Controllo e Protezione; Rapporto sull'integrazione dei sistemi d'impianto.

Principali collaborazioni: Università di Ancona, Università di Pavia, Università dell'Aquila

Durata: dicembre 2010 - novembre 2011

#### **D. Tecniche e strumenti di calcolo per la dinamica di nocciolo di un PWR:**

**Studio dei modelli di analisi per la dinamica spaziale di nocciolo:** valutazione dello stato dell'arte dei moduli di analisi neutronica, termoidraulica e termomeccanica e del loro accoppiamento, finalizzata alla definizione di un modello di riferimento inteso all'analisi dinamica spaziale del nocciolo di un reattore ad acqua pressurizzata. Studio dei codici esistenti utilizzabili a supporto del modello candidato all'analisi dinamica di nocciolo.

**Aggiornamento dati nucleari in "tempo reale":** analisi delle metodologie che consentono l'aggiornamento in "tempo reale" delle sezioni d'urto neutroniche in funzione dell'effetto della temperatura sull'allargamento Doppler dei picchi di risonanza delle medesime – ovvero della possibilità di ottenere set di dati nucleari appropriati in contemporanea con l'esecuzione dei codici di neutronica che ne fanno uso –, in relazione ai feedback ricavabili da analisi termoidrauliche accoppiate a quelle neutroniche. Studio del possibile accoppiamento di codici di neutronica tipo Montecarlo che implementino moduli per il processamento in tempo reale delle sezioni d'urto con codici di termoidraulica di nocciolo.

*Risultati/Deliverable:* Studio di fattibilità per lo sviluppo di un modello multifisica (neutronica, termoidraulica e termomeccanica) di dinamica spaziale di nocciolo. Rapporto di analisi della codicistica esistente a supporto dello sviluppo di uno strumento di dinamica spaziale di nocciolo. Rapporto di analisi delle tecniche di processamento in tempo reale delle sezioni d'urto e della loro possibile applicazione per un accoppiamento tra codici Montecarlo e di termoidraulica di nocciolo.

*Principali collaborazioni:* Politecnico di Torino, Università di Bologna, Università di Pisa

*Durata:* dicembre 2010 - novembre 2011

#### **COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI**

E' prevista una specifica attività di comunicazione e diffusione dei principali risultati mediante:

- Pubblicazione di tutti i deliverable e della sintesi dei principali risultati ottenuti sul sito pubblico dell'ENEA;
- Pubblicazioni su riviste scientifiche di settore, nazionali ed internazionali;
- Workshop dedicati aperti ai principali stakeholder italiani, istituzionali, industriali ed accademici, del nucleare da fissione.

I costi di questa attività sono inclusi nei preventivi dei diversi obiettivi progettuali.

#### **BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ**

La sicurezza dell'approvvigionamento energetico è diventata una delle maggiori preoccupazioni mondiali, in particolare per l'Europa che oggigiorno importa il 50% della propria energia e che, mantenendo inalterata la propria politica nel settore dell'energia e dei trasporti, finirà per importare il 65% della propria energia nel 2030. In particolare l'Italia è uno dei Paesi più esposti in Europa ai problemi di sicurezza dell'approvvigionamento energetico, che proviene dall'estero per oltre l'85%, ed è particolarmente esposta a possibili tassazioni sulla produzione di CO<sub>2</sub>, a causa dell'ampio utilizzo di combustibile fossile che rende problematico il rispetto di protocolli internazionali in materia di limitazione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Le attività descritte nel presente documento si propongono di ricostituire in ENEA le capacità di modellistica di nocciolo, di termoidraulica e di ingegneria strutturale attraverso l'uso di strumenti informatici avanzati (codici specifici e simulatori ingegneristici d'impianto). In tal modo si potrà dare un contributo efficace al processo di ripensamento del mix energetico per un progressivo ricorso alla fonte nucleare per la produzione di energia elettrica, al fine di conseguire obiettivi di interesse strategico quali:

- diversificazione delle fonti energetiche primarie, anche per la stabilizzazione dei prezzi dell'energia, con attenuazione delle fluttuazioni dei mercati dei combustibili fossili;
- riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, in linea con l'attuale posizione dell'Europa;
- benefici sul miglioramento della qualificazione tecnologica che le Industrie italiane potranno conseguire o rafforzare, con positivi ritorni in termini di evidenza sul mercato internazionale ed in termini di opportunità occupazionali.

**PROGETTO 1.3.2.a : SVILUPPO COMPETENZE SU METODI DI ANALISI E VERIFICA DI PROGETTI NUCLEARI DI GENERAZIONE EVOLUTIVA AD ACQUA PRESSURIZZATA**  
**Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	TOTALE
<b>A : Componenti e sistemi dell'impianto</b>									
	A.1: Componenti e sistemi con funzioni di sicurezza e di gestione dell'impianto	Nov. 2011	2500	175		20		160	367
	A.2 Sistemi attivi e passivi	Nov. 2011	2500	175		10		166	337
<b>B - Studi sul combustibile e materiali strutturali</b>									
	B.1 Metodi di progettazione	Nov. 2011	900	63		5		60	128
	B.2 : Aspetti di back-end nel ciclo combustibile	Nov. 2011	1500	105		5		126	230
	B. 3: Processi nucleari innovativi	Nov. 2011	200	14		5		90	105
<b>C: Strumentazione di nocciolo e simulazione</b>									
	C.1: In core instrumentation	Nov. 2011	900	63		5		60	128
	C.2: Strumentazione di supervisione, controllo e protezione	Nov. 2011	2000	140		5		60	214
	C.3 : Verifica d'integrazione tra i sistemi d'impianto	Nov. 2011	750	53		5		48	106
<b>D: Tecniche e strumenti di calcolo per la dinamica di nocciolo di un PWR</b>									
	D.1: Studio dei modelli di analisi per la dinamica spaziale di nocciolo	Nov. 2011	1030	72		5		120	200
	D.2: Aggiornamento dati nucleari in "tempo reale"	Nov. 2011	1000	70		5		110	185
<b>TOTALE</b>			<b>12850</b>	<b>930</b>		<b>70</b>		<b>1000</b>	<b>2000</b>

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

---

<b>AREA:</b>	<b>GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE</b>
<b>Tematica di Ricerca</b>	<b>ENERGIA NUCLEARE</b>
<b>Progetto 1.3.2.b</b>	<b>Fusione nucleare: <i>Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate “Broader Approach”</i></b>

---

## PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

### DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

**Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate “Broader Approach”**

### DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

La fusione termonucleare controllata è oggi considerata da tutti i paesi più industrializzati una opzione molto concreta come fonte di energia sicura, compatibile con l'ambiente e praticamente inesauribile. A conferma di ciò, Europa, Cina, Corea del Sud, India, Giappone, Federazione Russa e Stati Uniti hanno riunito i loro sforzi in un progetto di grande prestigio, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), che rappresenta una tappa fondamentale per arrivare alla realizzazione del primo reattore dimostrativo a fusione (DEMO).

ITER dovrà produrre 500 MW di potenza e dimostrare la possibilità di mantenere la reazione per un tempo sufficientemente lungo. L'impianto consentirà di verificare le tecnologie rilevanti per il reattore e fornirà gli elementi utili per la progettazione di DEMO. Per sfruttare al meglio la sperimentazione di ITER è necessario prevedere delle attività complementari di fisica e tecnologia ed in quest'ottica l'Europa e il Giappone, in occasione delle negoziazioni per la scelta del sito di ITER, hanno deciso di avviare in parallelo un programma denominato Broader Approach (BA) da affiancare ad ITER..

Il Broader Approach è un accordo di cooperazione internazionale tra Unione Europea (Euratom) e Giappone avente lo scopo di integrare il progetto ITER ed accelerare i tempi per la realizzazione dell'energia da fusione, attraverso attività di R&S relative a tecnologie avanzate per i futuri reattori dimostrativi.

L'accordo, al quale l'Italia ha aderito, consiste in una serie di attività sia di fisica che di tecnologia che prevedono realizzazioni prototipiche di alto contenuto tecnologico.

Il programma Broader Approach rappresenta una opportunità molto importante per sviluppare ricerche di base sulla fisica e la tecnologia della fusione nucleare. Infatti, il BA include una serie di attività finalizzate: alla realizzazione di componenti ad alto contenuto tecnologico; allo sviluppo di conoscenze di fisica di interesse per il reattore a fusione DEMO; alla realizzazione di prototipi per la validazione del progetto della sorgente intensa di neutroni IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) e alla realizzazione di un centro di studi denominato IFERC (International Fusion Energy Research Center) indirizzato a ricerche sui materiali e al supercalcolo.

In particolare le attività del BA includono:

- la costruzione di una macchina Tokamak denominata JT60SA: macchina superconduttrice delle dimensioni del JET destinata a studiare scenari operativi rilevanti per DEMO;
- la realizzazione di una facility in cui saranno provati i componenti di IFMIF, complessa struttura di ricerca finalizzata allo studio del danneggiamento dei materiali provocato dal flusso di neutroni di alta energia, quali quelli generati nella reazione di fusione. Si tratta del prototipo del primo stadio dell'acceleratore di ioni di deuterio che dopo essere accelerati fino ad energie di 40 MeV vanno a collidere un bersaglio di litio producendo un flusso di neutroni molto intenso capace di produrre un danneggiamento di 80 dpa/anno;

- la realizzazione di un prototipo del bersaglio per la produzione di neutroni (target) di IFMIF su cui far scorrere a forte velocità il litio liquido e i dispositivi per la sua manutenzione remota;
- la creazione del International Fusion Energy Research Center (IFERC) che include attività per DEMO tra le quali lo sviluppo di materiali avanzati come il SiC/SiC e un centro di supercalcolo.

L'Italia si è impegnata a contribuire allo sviluppo del Programma Broader Approach, affidando ad ENEA le seguenti attività:

### **Costruzione magneti Tokamak JT60SA**

Realizzazione, in collaborazione col CEA francese, del magnete superconduttore di JT60SA con incluse le casse di contenimento e le alimentazioni elettriche.

JT60SA si propone di contribuire al rapido sviluppo dell'energia da fusione attraverso lo studio degli aspetti più importanti della fisica di ITER e DEMO.

JT60SA è un Tokamak superconduttore di raggio maggiore di circa 3 m, in grado di confinare plasma di deuterio con una corrente massima di 5.5 MA, in configurazioni elongate a D, con singolo o doppio nullo. 41 MW di potenza di riscaldamento con iniettori di neutri ed antenne a microonde alla ciclotronica elettronica permettono di operare con alte densità di plasma e significativi valori di flusso di potenza sul divertore.

Il Tokamak superconduttore JT-60SA sarà installato a Naka nella Torus Hall che attualmente ospita il Tokamak JT-60U. L'isolamento termico di JT-60SA sarà assicurato, sotto vuoto, da un criostato metallico.

Delle 18 bobine toroidali che costituiscono il magnete, 9 saranno realizzate dall'ENEA e 9 dal CEA Francese.

La macchina JT60SA sarà il più grande tokamak superconduttore ad essere costruito prima della macchina ITER. Il magnete toroidale di JT60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4.4 gradi Kelvin e termicamente isolato da un criostato. Il conduttore rettangolare (22x26 mm<sup>2</sup>) in NiTi contenuto in una camicia in AISI di spessore 2 mm è stato ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida (quench) e migliorare la stabilità intrinseca. Ciascun conduttore è attraversato da una corrente di 25.7kA e refrigerato da una portata in massa di elio di 4 Kg/s. L'analisi di riscaldamento nucleare e flusso neutronico è stata condotta dall'ENEA utilizzando un codice Monte Carlo MCNP-5 con libreria FENDL-2. È stato usato un modello in 3D di un settore di 20° della macchina; le proprietà dei materiali componenti sono state opportunamente omogeneizzate. La camera da vuoto è riempita, nella doppia parete, di acqua borata per migliorare le prestazioni schermanti ed è stata modellata considerando tre port di cui uno equatoriale e due alla estremità superiore ed inferiore. L'avvolgimento della bobina è segmentato in 36 celle, ciascuno rappresentante due spire in direzione toroidale dei sei doppi pancake. Anche la cassa è stata segmentata in modo accurato per il calcolo del profilo del loro riscaldamento nucleare. Il flusso neutronico di riferimento è  $1.5 \times 10^{17}$  n/s. L'analisi termoidraulica della bobina, considerando anche il calore trasferito dalla cassa, assicura condizioni operative fortemente stabili con un margine di temperatura di 1.2 gradi Kelvin.

L'analisi strutturale è stata eseguita con il codice di calcolo agli elementi finiti ANSYS su un modello di bobina toroidale in 3D sollecitata da carichi elettromagnetici, in piano e fuori piano, prodotti durante lo scenario di riferimento. Nell'isolamento di spira si raggiunge un valore di taglio di 18 MPa; la sollecitazione di taglio sull'isolamento verso massa mostra un picco di 10 MPa. Entrambi i valori di taglio sono accettabili. La distribuzione delle sollecitazioni nella parte strutturale della bobina raggiunge un picco di circa 400 MPa nella gamba interna; valore accettabile nel caso di AISI 316. La deformazione della bobina assume una forma ad S e raggiunge un massimo di circa 20 mm nella parte esterna, vicino ai port della camera da vuoto.

Il metodo di inserimento dell'avvolgimento della bobina nella cassa è stato studiato con cura per ottenere un manufatto di elevata precisione meccanica richiesta dagli accoppiamenti per realizzare il complesso del magnete toroidale. Lo sviluppo del modello CAD della bobina e della cassa di contenimento in acciaio austenitico ha consentito lo studio delle interfacce e la definizione dei disegni di massima. Sperimentazioni sono state condotte su campioni di superconduttore per ottimizzare le prestazioni loro elettriche e fluidiche.

Il sistema magnetico di JT-60SA è costituito da 18 bobine toroidali superconduttrici di forma a D avvolte con un cavo in NbTi, raffreddato da un flusso forzato di elio supercritico. Ciascun avvolgimento è formato da 6 doppi pancake collegati in serie da giunti elettrici interni per assicurare la continuità elettrica; giunti esterni garantiscono la connessione elettrica con le bobine contigue mentre dei collettori provvedono alla distribuzione del flusso di elio. Ogni pancake è formato da sei spire, con un isolamento di spira dello spessore di 1 mm. Ciascun doppio pancake è avvolto da isolante con uno spessore di 1 mm; mentre l'intero avvolgimento ha un isolamento verso massa di 3 mm. L'isolamento elettrico è realizzato con tele di vetro e resina epossidica impregnata sotto vuoto. L'intero pacco di avvolgimento della bobina ha dimensioni nominali di 345 mm (toroidalmente) e 150 mm (radialmente). La realizzazione delle 9 bobine richiede lo sviluppo di impianti ed attrezzature prototipali che rivestono carattere innovativo e di ricerca, sia per lo sviluppo delle soluzioni costruttive, che per la definizione delle procedure realizzative degli elementi componenti la bobina toroidale.

L'Italia deve fornire:

- nove delle 18 bobine superconduttrici di NiTi che costituiscono l'intero magnete hanno dimensioni e caratteristiche tali da richiedere una estrapolazione significativa dei processi realizzativi, esse rappresentano un utile banco di prova per la costruzione delle bobine di ITER;
- Le casse di contenimento per tutte le 18 bobine sono componenti in acciaio austenitico che richiedono precisioni molto accurate per garantire il corretto posizionamento delle bobine che devono ospitare;
- Le alimentazioni elettriche di tutto il sistema magnetico di JT60SA, per un totale di 13 alimentatori ad alta tensione e corrente con relativi interruttori più quattro trasformatori, richiedono una progettazione specifica e sono di dimensioni e caratteristiche tali per cui vi è un forte interesse da parte della nostra industria. Il ruolo dell'ENEA è di fondamentale importanza perché la progettazione di tutti i componenti in questione richiede un know how specifico da sviluppare in continuità con quanto fatto finora in questi settori.
- Progettazione, costruzione, collaudo e spedizione a Naka (Centro Ricerche JAEA) del Magnete Toroidale superconduttore della Macchina Tokamak JT60SA complete di casse di contenimento ed alimentazione elettrica.

I processi realizzativi saranno qualificati con lo sviluppo di prototipi a piena scala e mock-up.

L'avvolgimento della bobina è contenuto in una cassa in AISI che costituisce il principale componente strutturale del sistema magnetico ed è caratterizzato da precisioni molto accurate per garantire il corretto accoppiamento con la bobina stessa.

La cassa delle bobine toroidali è una struttura saldata di piastre con spessore nell'intervallo 15-100 mm. Ogni cassa sarà preparata per il suo assemblaggio finale composta da un numero limitato di sottoinsiemi per minimizzare le saldature necessarie alla chiusura della cassa. I supporti meccanici delle bobine poloidali esterne e del trasformatore centrale saranno saldati. Il sistema magnetico di JT-60SA è supportato attraverso le casse delle bobine toroidali.

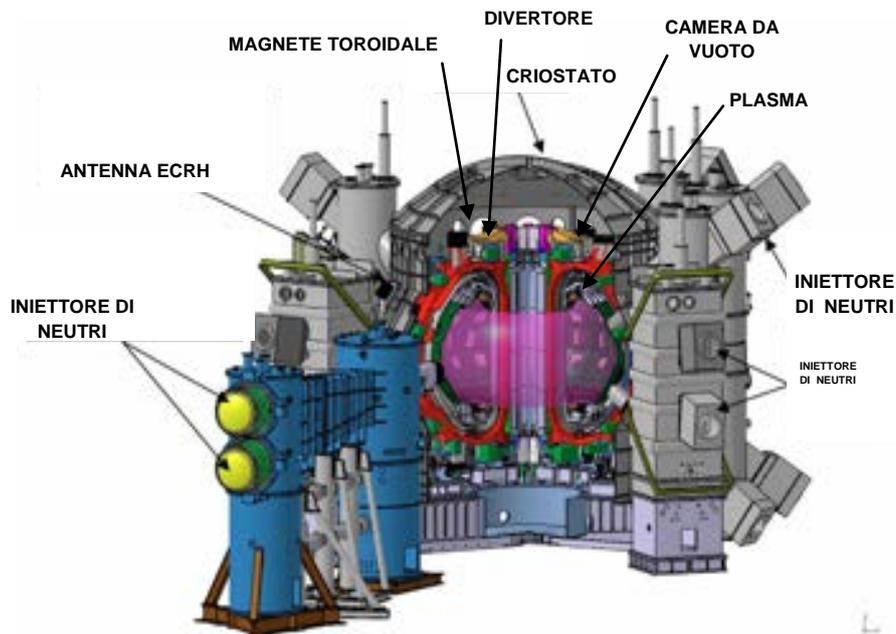
Le alimentazioni elettriche di tutto il sistema magnetico di JT60SA, per un totale di 13 alimentatori ad alta tensione e corrente con relativi interruttori più quattro trasformatori, richiedono una progettazione specifica e sono di dimensioni e caratteristiche tali per cui vi è un forte interesse da parte della nostra industria. Il ruolo dell'ENEA è di fondamentale importanza perché la progettazione di tutti i componenti in questione richiede un know how specifico da sviluppare in continuità con quanto fatto finora in questi settori.

**Tabella 1. Parametri operativi di JT60SA**

Corrente di plasma	5,5 MA/3,5MA
Campo toroidale	2,7 T
Raggio Maggiore	3 m
Raggio minore	1 m
Durata impulso di plasma	100 s
Potenza di riscaldamento	41 MW
Flusso termico al divertore	15 MW/m <sup>2</sup>

**Tabella 2. Caratteristiche della bobina toroidale**

Massimo campo sul conduttore della bobina.	5,65 T
Corrente nel conduttore	25,7 kA
Numero bobine toroidali	18
Peso totale bobine toroidali.	~370 t
Numero di spire bobina.	72
Numero di strati.	6
Portata totale dell'elio di raffreddamento.	48 g/s
Temperatura elio.	4,4 K



**Figura 1. Vista della macchina tokamak JT60SA**

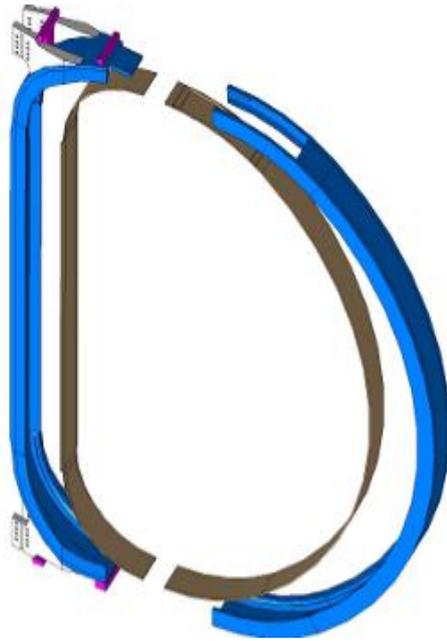


Figura 2. Sottoinsiemi della cassa di contenimento



Figura 3. Vista assonometrica Bobina toroidale

## IFMIF e IFERC

Attività di ricerca e sviluppo per IFMIF-EVEDA e IFERC. Esse richiedono lo sviluppo competenze e l'elaborazione di applicazioni innovative nel campo dei metalli liquidi, in particolare per gli aspetti legati alla purificazione e alla corrosione/erosione del litio liquido, della manutenzione remota, dello sviluppo e caratterizzazione di materiali compositi ceramici in matrice e fibra di silicio (SiC/SiC). Questi settori sono di grande interesse per le attività programmatiche dell'ENEA che in questi settori è impegnata da tempo e per i quali ha una dotazione strumentale per alcuni aspetti unica in campo europeo. In particolare le attività relative ai metalli liquidi e alla manutenzione remota potranno usufruire degli impianti presenti presso il Centro ENEA del Brasimone e della esperienza nella progettazione di circuiti a metallo liquido e della relativa manutenzione remota. L'attività, infatti, consiste nella progettazione del target di IFMIF, un componente su cui fluisce litio liquido ad alta velocità, e delle attività di sviluppo e caratterizzazione a supporto riguardanti la corrosione/erosione e la purificazione del litio e la dimostrazione delle operazioni di manutenzione remota.

Verranno effettuate sperimentazioni dedicate alla purificazione ed alla verifica della compatibilità chimica del litio con i materiali strutturali al fine di prevedere la durata dei componenti, il trasporto di massa relativo agli elementi principali (Fe, Cr e Ni), la loro deposizione ed il loro contributo di radio attivazione del sistema. Infine verrà effettuata, per il target IFMIF l'analisi di sicurezza completa. Il target è un componente su cui fluisce litio liquido ad alta velocità, e pertanto si rendono necessarie le attività di sviluppo e caratterizzazione a supporto riguardanti la corrosione/erosione e la purificazione del litio e la dimostrazione delle operazioni di manutenzione remota. Poiché il target di IFMIF è soggetto ad un elevato danneggiamento neutronico, dell'ordine di 50 dpa/anno, una componente essenziale della progettazione è l'analisi delle sollecitazioni termomeccaniche conseguenti all'esposizione neutronica. Tale analisi deve essere eseguita in modo accurato al fine di predire la vita media delle parti più sollecitate e pianificarne il programma di sostituzione parziale o totale. Tale analisi richiede un significativo impegno in termini di calcolo numerico sia con codici Monte Carlo di neutronica e sia con codici F.E per la termica e la meccanica. In molti aspetti del calcolo è necessario ricorrere ad adattamenti ad hoc in quanto i codici commerciali non sono ancora adeguatamente configurati.

Nel campo dei compositi ceramici, grazie anche alla collaborazione in atto con la società partecipata FN Nuove Tecnologie e Servizi Avanzati, si hanno dotazioni impiantistiche di grande rilievo come il sistema di CVI (Chemical Vacuum Infiltration) per la realizzazione di componenti di carburo di silicio composito (SiC/SiC). Ai compositi ceramici si guarda con grande interesse per l'utilizzo sia come materiale strutturale sia come materiale funzionale per barriere termiche ed elettriche. Queste attività hanno una forte continuità con quanto in atto per lo sviluppo del reattore dimostrativo a fusione ma anche per i reattori a fissione di IV generazione.

## SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il programma fusione è uno dei campi di eccellenza della ricerca in Italia. Il programma è coordinato a livello europeo dall'Euratom e vede la partecipazione di tutti i paesi UE più la Svizzera. Le attività italiane, sono condotte dall'ENEA, che ha la funzione di coordinatore, dal CNR e da molte Università italiane. ENEA e CNR hanno inoltre costituito con altri partner il Consorzio RFX.

La ricerca sulla fusione, essendo ormai orientata verso la realizzazione del reattore, richiede di sviluppare oltre alle conoscenze di fisica anche le tecnologie relative ai materiali, ai processi di fabbricazione dei componenti ed alla manutenzione remotizzata, che nel caso della fusione presentano caratteristiche che vanno oltre la normale pratica realizzativa. In questo contesto, particolare rilevanza presentano le tecnologie dei magneti superconduttori e dei componenti di grosse dimensioni e alte precisioni, lo sviluppo dei materiali e nello specifico dei compositi ceramici. Ai compositi ceramici si guarda infatti con grande interesse per l'utilizzo sia come materiale strutturale sia come materiale funzionale per barriere termiche ed elettriche.

Parallelamente all'impiego di ITER, la comunità scientifica, sarà impegnata a individuare e provare i materiali strutturali più adatti a rispondere alle differenti richieste di un prototipo dimostrativo di reattore

a fusione. La fusione termonucleare pone una doppia sfida agli specialisti di materiali: alte temperature (fino ad 800 °C) ed alti flussi di neutroni da 14 MeV che in un anno inducono danneggiamenti quantificabili in 50 dpa. La conduzione di ricerche appropriate in questa area di sviluppo, che appare fortemente strategica per tutto il settore industriale, richiede la realizzazione e l'impiego della sorgente di neutroni IFMIF. Per tale motivo nell'ambito delle attività tecnologiche di Broader Approach vengono previste le progettare e realizzare la sorgente di neutroni da 14 MeV completa di due acceleratori di deutoni accoppiati in parallelo, circuito per purificazione e pompaggio litio a 20 m/s e tre dispositivi per prove meccaniche sui materiali candidati all'impiego fusionistico.

Lo sviluppo delle tecnologie dei metalli liquidi, inoltre, è un punto di forza delle ricerche in ENEA che applica queste tecnologie non solo nel campo della fusione ma anche per i reattori a fissione di IV Generazione. L'ENEA è tra i leader nel settore e grazie alla sua dotazione strumentale ed impiantistica può accrescere il know how in un campo cruciale per le tecnologie dei futuri reattori nucleari.

## STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Il magnete toroidale di JT60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4,4 K e termicamente isolato da un criostato. Il conduttore in NiTi verrà ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida e migliorare la stabilità intrinseca. L'analisi di riscaldamento nucleare e flusso neutronico verrà condotta dall'ENEA con codice Monte Carlo. Verrà usato un modello in 3D di un settore della macchina e le proprietà dei materiali componenti saranno opportunamente omogeneizzate. L'analisi termica del superconduttore, considerando anche il calore dovuto al flusso neutronico trasferito dalla cassa, assicurerà condizioni operative fortemente stabili con un margine di temperatura di 1,2 K. L'integrità meccanica del magnete verrà studiata con un settore di macchina in 3D sollecitata da carichi elettromagnetici provenienti dallo scenario di riferimento. Il metodo di inserimento dell'avvolgimento bobina nella cassa verrà studiato con attenzione per ottenere un manufatto con la precisione meccanica richiesta dagli accoppiamenti per realizzare il complesso del magnete toroidale. Sperimentazioni sono state già condotte su piccoli campioni per ottimizzare le prestazioni elettriche e fluidiche dei componenti superconduttori. Lo sviluppo del modello CAD della bobina e della cassa di contenimento consentirà lo studio delle interfacce e la definizione dei disegni di massima.

L'impianto IFMIF sarà una facility di ricerca di cospicuo rilievo, con una lunghezza di oltre 200 metri, progettata ad hoc. I suoi componenti principali saranno:

- 1) una sorgente di ioni (tipicamente ioni di deuterio);
- 2) due acceleratori lineari, di grande potenza (complessivamente 10 MW), che accelerano gli ioni di deuterio fino all'elevatissima energia di 40 MeV, facendo convergere i fasci di ioni sullo stesso bersaglio (target);
- 3) un target costituito da litio fuso in circolazione forzata ad alta velocità, su cui gli ioni di deuterio accelerati impattano, sviluppando neutroni di elevata energia mediante opportune reazioni nucleari.

ENEA, in ambito europeo, è responsabile dello sviluppo del target per la produzione di neutroni. Il progetto è basato su un efflusso libero di litio ad alta velocità (20 m/s) che, investito normalmente da un fascio di deutoni, rilascia per la reazione nucleare di stripping, una corrente di neutroni sufficientemente energetici per poter esercitare, sui materiali in prova, lo stesso danneggiamento neutronico che ha luogo in un reattore a Fusione. La proposta progettuale di ENEA comprende anche la intercambiabilità della parete posteriore del componente al fine di consentirne la sostituzione quando il danneggiamento del materiale con cui è realizzato raggiunge livelli inaccettabili.

Lo studio di compositi di SiC/SiC è una delle attività di ricerca e sviluppo di DEMO previste nell'ambito del progetto IFERC (International Fusion Energy Research Center). L'ENEA ha il compito di studiare le proprietà meccaniche e chimico-fisiche dei compositi in SiC/SiC e di sviluppare un'analisi di modello in grado di simulare ed interpretare le prove meccaniche su campioni di SiC/SiC.

## OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

Il magnete toroidale di JT60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4,4 K e termicamente isolato da un criostato. Il conduttore in NiTi verrà ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida e migliorare la stabilità intrinseca. L'analisi di riscaldamento nucleare e flusso neutronico verrà condotta dall'ENEA con codice Monte Carlo. Verrà usato un modello in 3D di un settore della macchina e le proprietà dei materiali componenti saranno opportunamente omogeneizzate. L'analisi termica del superconduttore, considerando anche il calore dovuto al flusso neutronico trasferito dalla cassa, assicurerà condizioni operative fortemente stabili con un margine di temperatura di 1,2 K. L'integrità meccanica del magnete verrà studiata con un settore di macchina in 3D sollecitata da carichi elettromagnetici provenienti dallo scenario di riferimento. Il metodo di inserimento dell'avvolgimento bobina nella cassa verrà studiato con attenzione per ottenere un manufatto con la precisione meccanica richiesta dagli accoppiamenti per realizzare il complesso del magnete toroidale. Sperimentazioni sono state già condotte su piccoli campioni per ottimizzare le prestazioni elettriche e fluidiche dei componenti superconduttori. Lo sviluppo del modello CAD della bobina e della cassa di contenimento consentirà lo studio delle interfacce e la definizione dei disegni di massima.

L'impianto IFMIF sarà una facility di ricerca di cospicuo rilievo, con una lunghezza di oltre 200 metri, progettata ad hoc. I suoi componenti principali saranno:

- 1) una sorgente di ioni (tipicamente ioni di deuterio);
- 2) due acceleratori lineari, di grande potenza (complessivamente 10 MW), che accelerano gli ioni di deuterio fino all'elevatissima energia di 40 MeV, facendo convergere i fasci di ioni sullo stesso bersaglio (target);
- 3) un target costituito da litio fuso in circolazione forzata ad alta velocità, su cui gli ioni di deuterio accelerati impattano, sviluppando neutroni di elevata energia mediante opportune reazioni nucleari.

ENEA, in ambito europeo, è responsabile dello sviluppo del target per la produzione di neutroni. Il progetto è basato su un efflusso libero di litio ad alta velocità (20 m/s) che, investito normalmente da un fascio di deutoni, rilascia per la reazione nucleare di stripping, una corrente di neutroni sufficientemente energetici per poter esercitare, sui materiali in prova, lo stesso danneggiamento neutronico che ha luogo in un reattore a Fusione. La proposta progettuale di ENEA comprende anche l'intercambiabilità della parete posteriore del componente al fine di consentirne la sostituzione quando il danneggiamento del materiale con cui è realizzato raggiunge livelli inaccettabili.

Lo studio di compositi di SiC/SiC è una delle attività di ricerca e sviluppo di DEMO previste nell'ambito del progetto IFERC (International Fusion Energy Research Center). L'ENEA ha il compito di studiare le proprietà meccaniche e chimico-fisiche dei compositi in SiC/SiC e di sviluppare un'analisi di modello in grado di simulare ed interpretare le prove meccaniche su campioni di SiC/SiC.

## DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Il progetto complessivo si svolgerà nell'arco di sei anni; le attività, di cui ENEA ha la responsabilità, nell'ambito della collaborazione internazionale "Broader Approach" sono le seguenti:

- studio e progettazione del magnete di JT60SA (bobine superconduttrici e strutture di contenimento), redazione delle specifiche, emissione di ordini per acquisti di materiali, impianti e attrezzature per la realizzazione delle bobine,
- studio e progettazione delle alimentazioni elettriche degli avvolgimenti di JT60SA, redazione specifiche tecniche, procedure di gara ed aggiudicazione, revisione del progetto e inizio della realizzazione di 6 alimentatori degli avvolgimenti di campo poloidale e 2 alimentatori degli avvolgimenti di controllo della posizione del plasma tutti con i loro sistemi di crow-bar e i loro relativi 4 trasformatori;

- progettazione redazione delle specifiche tecniche, procedure di gara ed aggiudicazione, revisione del progetto e inizio della realizzazione di 4 sistemi di switching per la generazioni di impulsi di alte tensioni negative;
- studio e progettazione delle alimentazioni elettriche del magnete di JT60SA, redazione specifiche tecniche e realizzazione di parte dei 13 alimentatori degli avvolgimenti di campo poloidale e verticale con relativi interruttori e trasformatori;
- studi, progettazione e costruzione di un prototipo del target per prove fluidodinamiche, realizzazione e fornitura di sensori di misura, prove di corrosione/erosione e di purificazione nell'impianto a litio liquido Lifus 3 del Brasimone;
- Progettazione d'assieme completa del target di IFMIF; progettazione componente di purificazione del litio da azoto per IFMIF; realizzazione del sistema di manutenzione remota e prove prototipiche di manutenzione in piattaforma di prova;
- misure delle caratteristiche fisiche di componenti in SiC/SiC. Sviluppo di modelli reologici per simulare il comportamento dei compositi ceramici
- progettazione e realizzazione di un dispositivo per prove di erosione/corrosione di target di SiC/SiC in movimento in litio liquido ad alta temperatura.

## ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2010

### A. Macchina JT60SA

L'obiettivo prevede: studio e progettazione del magnete di JT60SA (bobine superconduttrici e strutture di contenimento) e redazione delle specifiche tecniche; studio e progettazione delle alimentazioni elettriche del magnete di JT60SA e redazione delle relative specifiche tecniche, procedure di gara ed aggiudicazione e design review; progettazione dei sistemi di switching per la generazione di alte tensioni e redazione delle relative specifiche tecniche, procedure di gara ed aggiudicazione e design review.

L'attività è suddivisa in 4 task principali:

#### A.1 Progettazione bobine superconduttrici magnete toroidale JT60SA e realizzazione attrezzature

L'ENEA dovrà fornire, alla fine del programma 9 bobine superconduttrici.

Nel primo anno dovranno essere eseguite tutte le azioni preparatorie all'emissione degli ordini d'acquisto, In particolare:

- Stesura completa dei disegni costruttivi della bobina, completi di tutti i particolari (doppi pancake della bobina, ingresso di elio di refrigerazione, giunti elettrici intermedi e terminazione riempitivi necessari all'avvolgimento della bobina);
- Sviluppo del programma di garanzia e controllo di qualità in accordo a quanto previsto per la fornitura delle parti d'impianto della macchina Tokamak JT60SA;
- Emissione del programma di qualifica relativo alle procedure di messa a punto dei processi di manifattura e realizzazione di prototipi quali: ingresso elio di refrigerazione, realizzazione della giunzione elettrica, prototipo del doppio pancake.
- Progettazione concettuale della linea di avvolgimento delle bobine ed emissione delle specifiche di acquisto dei componenti dell'impianto di avvolgimento ed emissione dei relativi ordini;

Verranno poi realizzate attrezzature per la fabbricazione delle bobine superconduttori di JT60SA che consistono in un complesso sistema di avvolgimento del cavo conduttore, costituito da una treccia inserita in un condotto di acciaio e di movimentazione dei sottocomponenti delle bobine (pancake).

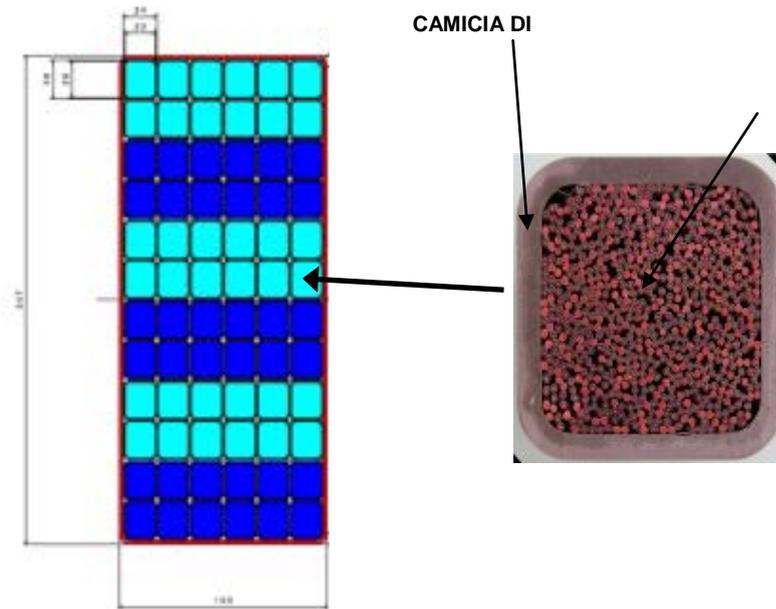


Figura 4. Sezione dell'avvolgimento della bobina toroidale di JT60SA

In particolare all'inizio della linea di avvolgimento è necessario installare una calandratrice a controllo numerico per ottenere le forme a di delle singole spire della bobina.

La tavola di avvolgimento sarà dotata di movimentazione automatica per consentire l'avvolgimento delle spire nella forma e dimensione volute. Al monte della calandratrice vi è un sistema di sabbatura del cavo e a valle di questa vi è un sistema per la nastratura dell'isolante elettrico da interporre tra le spire. La bobina è formata da sei doppi strati (doppi pancake) che vengono avvolti individualmente. E' perciò necessario movimentare i singoli pancake tramite attrezzature dedicate che devono garantire l'integrità dei pancake e del loro isolamento elettrico.

Di seguito seguono sono riportati gli schemi delle attrezzature su menzionate

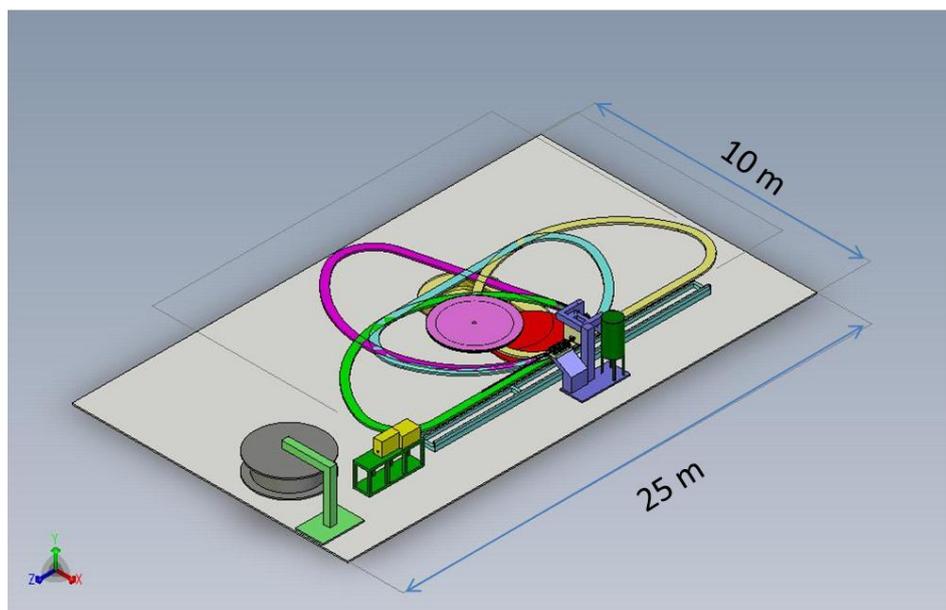
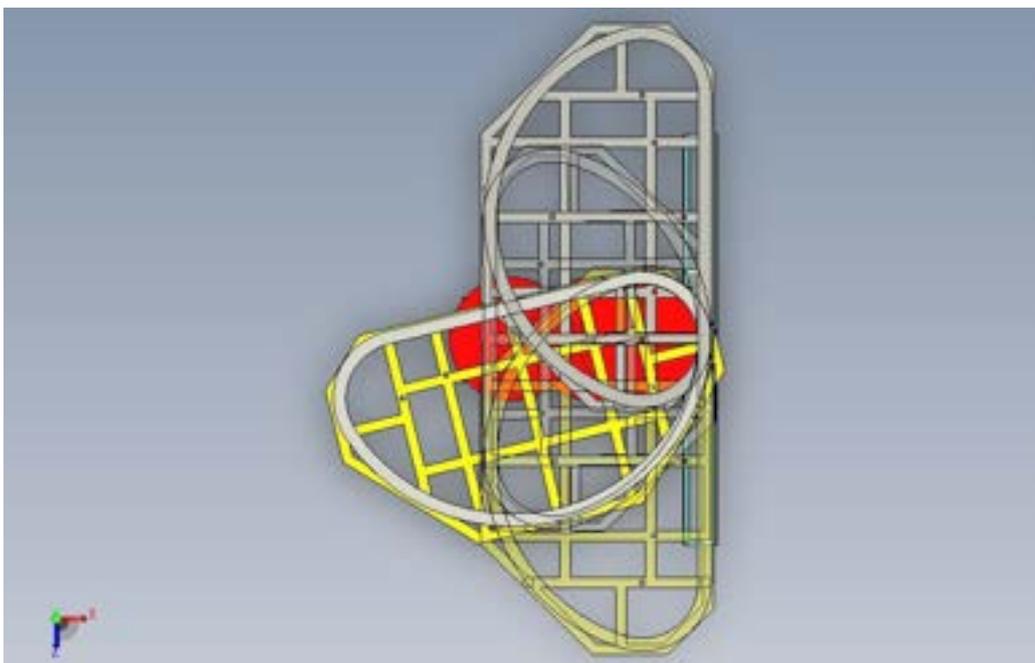


Figura 5. Impianto di avvolgimento



**Figura 6. Tavola roto-traslante per avvolgimento**

Durante l'espletamento di tali operazioni, si procederà alle seguenti attività:

- Emissione delle specifiche di acquisto di impianti ed attrezzature per la composizione ed isolamento contromassa dell'avvolgimento, impregnazione dell'avvolgimento, impianto di saldatura della cassa, impregnazione della bobina nella cassa di contenimento per garantire la tenuta finale della bobina, lavorazione meccanica ad elevata precisione necessaria a soddisfare i requisiti meccanici del sistema magnetico.
- Completamento attività di progettazione costruttiva dell'avvolgimento della bobina.
- Emissione di ordini per l'acquisto di impianti ed attrezzature per la realizzazione della bobina.
- Qualifica dei processi costruttivi quali: piegatura ed isolamento del cavo superconduttore, processo di impregnazione su trave lineare, resistenza meccanica di adesione e taglio del materiale elettricamente isolante, saldatura longitudinale e trasversale di copertura della cassa di contenimento e procedure necessarie alla eventuale sua riparazione.
- Installazione di impianti per la costruzione delle bobine, quali: linea di avvolgimento bobina, impianto di impregnazione, serbatoio per prova di tenuta integrale e attrezzature per la realizzazione delle giunzioni elettriche e di ingresso di elio di refrigerazione.
- Monitoring delle attività relative alla costruzione dei conduttori in NbTi.

Risultato/Deliverable:

- Disegni costruttivi e specifiche tecniche e realizzazione delle attrezzature per la fabbricazione delle nove bobine toroidali

Durata: dicembre 2010- novembre 2011

A.2 Progettazione strutture di contenimento bobine toroidali JT60SA

Sviluppo dei disegni costruttivi e di dettaglio relativo ai componenti di assemblaggio della cassa di contenimento bobina. Sviluppo del programma di garanzia di qualità descrivendo tutte le aree interessate dalla fornitura in connessione alle attività di pianificazione, sviluppo progettazione costruttiva, identificazione fornitori, controllo delle fasi esecutive e gestione non conformità. Definizione della struttura

organizzativa articolata secondo i livelli di autorità, le responsabilità funzionali, le linee di comunicazione tra le varie posizioni organizzative e le interfacce operative. Sviluppo del programma di garanzia di qualità. Sviluppo del piano di controllo della qualità con particolare riferimento alla analisi dei materiali, ai controlli delle saldature e controlli intermedi e finali con laser track. Emissione del Programma di qualifica relativo alle procedure di messa a punto dei processi di saldatura e realizzazione del prototipo di trave rettilinea finalizzata all'analisi delle deformazioni prodotte dalla saldatura. Sviluppo dei disegni costruttivi e di dettaglio relativo ai componenti di assemblaggio della cassa di contenimento bobina.

In particolare Il primo anno vedrà lo sviluppo dei documenti necessari alla organizzazione della commessa ed alla emissione degli ordini di acquisto dei materiali. In particolare:

- Pianificazione delle attività e relativo programma di garanzia di qualità e piano di controllo con particolare riferimento alla analisi dei materiali, ai controlli delle saldature e controlli intermedi e finali.
- Sviluppo dei disegni costruttivi e di dettaglio relativi ai componenti di assemblaggio della cassa di contenimento bobina.
- Programma di qualifica relativo alle procedure di messa a punto dei processi di saldatura e Mock-up per la validazione della tecnologia di saldatura.
- Identificazione fornitori.
- Selezione del materiale costruttivo e relativa specifica d'ordine.

Risultato/Deliverable:

- Disegni costruttivi e specifiche tecniche.

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

A.3 Progettazione degli 'switch network unit'

Studi e progettazione per la realizzazione di quattro sistemi di switching per l'ottenimento di impulsi di alta tensione sugli avvolgimenti della Macchina JT60SA. In dettaglio si prevede l'espletamento di tutte le azioni per la gara e l'aggiudicazione della fornitura e l'avvio della revisione della progettazione prodotta dalla ditta aggiudicataria

Risultato/Deliverable:

- Specifiche tecniche e disegni .

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

A.4 Progettazione alimentatori dei magneti poloidali e toroidali di JT60SA

Studi e progettazione per la realizzazione di otto alimentatori AC/DC e relativi quattro trasformatori, per gli avvolgimenti poloidali e di controllo della Macchina JT60SA. In dettaglio si prevede l'espletamento di tutte le azioni per la gara e l'aggiudicazione della fornitura e l'avvio della revisione della progettazione prodotta dalla ditta aggiudicataria.

Risultato/Deliverable:

- Specifiche tecniche e disegni .

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

## **B. Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility)**

L'attività ha come obiettivo lo sviluppo progettuale del target rimovibile per IFMIF, del suo sistema di sostituzione e del dispositivo di purificazione continua da azoto del litio. L'attività è suddivisa in cinque task principali che coprono tutte le fasi inerenti la progettazione costruttiva, la qualifica sperimentale, le procedure operative, i processi fabbricativi e l'applicabilità dei materiali.

### B.1 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianto a litio EVEDA Loop per IFMIF.

La partecipazione di ENEA alle attività sperimentali presso l'impianto a litio EVEDA-Loop consiste nella fornitura di prototipi da implementare nella realizzazione e nella partecipazione alle attività sperimentali. In particolare:

- Progettazione di prototipo del target IFMIF per verifiche sperimentali di fluidodinamica.
- Realizzazione e fornitura di misuratore di resistività del litio per misure di impurezze contenute
- Realizzazione e fornitura di misuratore di cavitazione
- Sperimentazione presso l'impianto EVEDA Loop.

#### Risultato/Deliverable:

- Rapporto sulla progettazione del prototipo di target e realizzazione dei misuratori di impurezze e di cavitazione.

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

### B.2 Forniture ed implementazioni comuni per sperimentazioni della corrosione/erosione per IFMIF.

Scopo dell'attività è la caratterizzazione, in termini di perdita di peso e di modificazione metallografica di alcuni acciai strutturali di interesse IFMIF, dopo esposizione in litio fluente ad alta velocità (20 m/s) per tempi significativi. L'attività verrà svolta nell'impianto Lifus 3 del Brasimone, dopo la messa a punto dell'apparato sperimentale saranno avviate le sperimentazioni di differenti durate e condizioni.

#### Risultato/Deliverable:

- Rapporto sulla messa a punto e avviamento dell'impianto Lifus 3 per prove di corrosione/erosione in litio in condizioni rappresentative del target IFMIF

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

### B.3 Forniture ed implementazioni comuni per la qualifica sperimentale del sistema di purificazione litio per IFMIF.

Scopo dell'attività è la qualifica sperimentale del sistema di purificazione del litio, dalle principali impurezze, basato su tre diversi getters solidi. La sperimentazione inizierà sull'impianto Lifus 3 del Brasimone. Dopo la messa a punto del sistema di purificazione saranno effettuate le prove atte a quantificare l'efficienza della rimozione delle impurezze da litio in diverse condizioni operative.

#### Risultato/Deliverable:

- Rapporto sulla messa a punto del sistema di purificazione associato all'impianto Lifus 3 e sugli esiti delle prove funzionali in diverse condizioni.

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

#### B.4 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF.

Il contributo ENEA consiste in tutte le fasi di sviluppo necessarie a pervenire alla progettazione e qualificazione sperimentale del sistema di rimozione e ripristino della piastra posteriore del target per via remota. In particolare le azioni previste sono:

- Progettazione del sistema di manipolazione remotizzata;
- Progettazione del mockup di target per effettuare le esperienze di qualificazione
- Prove tecnologiche per qualificare il corretto impiego dei materiali;
- Adeguamento dell'area sperimentale
- Acquisizione di componentistica già industrializzata (braccio mobile, dispositivo di avvitamento/svitamento).

#### Risultato/Deliverable:

- Rapporto sulla progettazione del sistema di manipolazione remota,
- Rapporto sulle verifiche tecnologiche
- Rapporto sull'adeguamento dell'area sperimentale destinata alle sperimentazioni full scale in condizioni rappresentative del target IFMIF.

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

#### B.5 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione completa di target a litio per IFMIF e di dispositivo di purificazione litio dall'impurezza azoto.

Scopo dell'attività è la progettazione d'assieme completa del target di IFMIF e del componente di purificazione del litio da azoto. I progetti saranno comprensivi di calcoli termo meccanici, neutronici e termoidraulici in condizioni operative (stazionarie e transitorie) ed incidentali. Le scelte progettuali saranno tutte accompagnate da giustificazioni fondate su qualifiche teoriche o sperimentali. In particolare le azioni previste sono:

- Progetto del target assembly
- Verifiche termo-meccaniche in condizioni stazionarie
- Analisi neutronica e di danneggiamento
- Analisi di funzionalità e di interfaccia

#### Risultato/Deliverable:

- Rapporto di avanzamento del progetto del target di IFMIF comprensivo di disegni e di analisi numeriche.

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

### **C. Attività per IFERC (International Fusion Energy Research Center)**

L'obiettivo prevede lo sviluppo e la caratterizzazione di materiali composti ceramici in matrice e fibra di silicio ed è suddiviso in due task principali:

#### C.1 Caratterizzazione proprietà fisiche composito ceramico SiC/SiC

Scopo dell'attività è la misura della conducibilità termica di un composito ceramico SiC/SiC al fine di caratterizzare termicamente il materiale per l'utilizzo in ambito fusionistico.

Scopo dell'attività di modellazione dei materiali compositi è quella di sviluppare tecniche computazionali che partendo dalle proprietà meccaniche e di resistenza dei materiali costituenti il materiale composito siano in grado di caratterizzare le corrispondenti proprietà del manufatto finale.

Le azioni previste sono:

- Integrazione, in un codice commerciale agli elementi finiti, di programmi in grado di definire il comportamento meccanico dei materiali compositi;
- Esecuzione di prove meccaniche sui materiali compositi ceramici per ottenere i dati di ingresso per i codici di calcolo sviluppati.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sui risultati delle misure della conducibilità termica;
- Rapporto sui risultati del codice di modellazione dei materiali compositi e dei risultati delle prove meccaniche sui materiali compositi ceramici.

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

### *C.2 Caratterizzazione del composito ceramico SiC/SiC in litio liquido*

Scopo dell'attività è la realizzazione di un apparato per prove ad alta temperatura (1200 °C) di un target rotante di SiC/SiC in litio-piombo al fine di caratterizzare i fenomeni di erosione-corrosione. Le azioni sono:

- completamento di un forno per prove ad alta temperatura
- esecuzione di una campagna di prove preliminari di erosione-corrosione di compositi SiC/SiC il litio-piombo.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sui risultati delle prove di erosione-corrosione.

Durata: dicembre 2010 – novembre 2011

Il materiale per le attività dei Task C.1 e C.2 verrà fornito dalla Società FN, unica società in Italia attrezzata per fornire SiC/SiC nelle forme e dimensioni richieste utilizzando il procedimento di Chemical Vapor Infiltration (CVI).

## **BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ**

La realizzazione di queste attività sono inserite nell'ambito delle attività di ricerca per la fusione, che vengono eseguite nel nostro paese da alcuni decenni, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi e benefici previsti dalla fusione nel lungo periodo. Nello specifico, inoltre, tra i benefici ipotizzabili per gli utenti del sistema elettrico nazionale possono essere individuati:

- lo sviluppo di nuovi processi di produzione innovativi nel campo dei conduttori elettrici;
- lo sviluppo di nuovi materiali e di loro possibili applicazioni future per diversi usi energetici;
- la possibile registrazione di brevetti per la tutela e lo sfruttamento della nuova conoscenza prodotta.
- 

## **Comunicazione e diffusione dei risultati**

L'attività di comunicazione e diffusione dei principali risultati sia alla comunità scientifica che al largo pubblico generalmente interessato al tema avverrà mediante.

- workshop tematici nazionali ed internazionali;
- pubblicazioni di articoli e saggi divulgativi sulle principali riviste scientifiche internazionali del settore;

- divulgazione e condivisione dei risultati scientifici ottenuti anche attraverso l'utilizzo dei nuova media, ad iniziare da internet;
- Informazioni at a glance all'interno dei notiziari informatici più diffusi nella comunità scientifica internazionale del settore, tra i quali le newsletters dell'ENEA, di F4E e della JAEA.

Potranno essere adottate anche altre forme di comunicazione e diffusione dei risultati a seconda delle esigenze specifiche che potranno presentarsi, utilizzando un approccio comunicativo flessibile in grado di assicurare la migliore copertura possibile dell'audience identificato e la pervicacia del messaggio comunicato.

I costi di queste attività sono inclusi nei preventivi dei diversi obiettivi progettuali.

**Attività di ricerca 1.3.2.b "Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate "Broader Approach""**

**Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
<b>A. Macchina JT60SA</b>									
A1	Progettazione bobine superconduttrici magneti toroidale JT60SA e realizzazione attrezzature	Nov 2011	3850	270	3600	15	-	-	3885
A2	Progettazione strutture di contenimento bobine toroidali JT60SA	Nov 2011	1700	119	-	10	-	-	129
A3	Progettazione degli 'switch network unit'	Nov 2011	850	59	-	10	-	-	69
A4	Progettazione alimentatori dei magneti toroidali e toroidali di JT60SA	Nov 2011	1150	81	-	10	-	-	91
<b>B. Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF</b>									
B1	Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianto a litio EVEDA Loop per IFMIF.	Nov 2011	515	36	35	10	150	-	126
B2	Forniture ed implementazioni comuni per sperimentazioni di corrosione/erosione per IFMIF.	Nov 2011	270	19	20	10	-	-	89
B3	Forniture ed implementazioni comuni per la qualifica sperimentale del sistema di purificazione litio per IFMIF.	Nov 2011	485	34	20	5	-	-	74
B4	Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF.	Nov 2011	485	34	25	5	-	-	79
B5	Forniture ed implementazioni comuni per progettazione completa di target a litio per IFMIF e di dispositivo di purificazione litio dall'impurezza azoto.	Nov 2011	485	34	20	5	-	-	74
<b>C. Attività IFERC (International Fusion Energy Research Center)</b>									
C1	Caratterizzazione proprietà fisiche composito ceramico SiC/SiC	Nov 2011	600	42	40	5	75	-	162
C2	Caratterizzazione del composito ceramico SiC/SiC in litio liquido.	Nov 2011	600	42	100	5	75	-	222
<b>TOTALE</b>			<b>10990</b>	<b>750</b>	<b>3860</b>	<b>90</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>5000</b>

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 150k€ per attività della partecipata FN)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

<b>AREA</b>	<b>RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA</b>
<b>Tematica di Ricerca</b>	<b>RISPARMIO DI ENERGIA ELETTRICA NELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA</b>
<b>Progetto 3.2.1</b>	<b><i>Tecnologie "smart" per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione</i></b>

## PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

### DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

**Tecnologie "smart" per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione**

### DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il prodotto consiste nello sviluppo di una serie di tecnologie ICT che permettono di utilizzare il sistema di illuminazione pubblica come la struttura portante di una rete di sensori, di sistemi di comunicazione e di applicazioni intelligenti il cui scopo è quello di rendere più efficiente dal punto di vista energetico e funzionale la gestione di reti urbane connesse a servizi energetici pubblici. Tra questi, i più significativi che rientrano nel contesto del sistema elettrico sono l'illuminazione pubblica, la mobilità (ed in particolare la mobilità elettrica e la mobilità pubblica) e la gestione energetica di edifici.

Tali reti sono attualmente concepite come separate e spesso prescindono da un approccio di fornitura energetica commisurata dinamicamente alla richiesta ("energy on demand"). L'adozione di un approccio adattivo richiede lo sviluppo di una struttura di sensori che possa "misurare" la richiesta di energia in tempo reale, una rete di trasporto dei dati e sistemi intelligenti che siano in grado di ottimizzare la fornitura, colloquiare con i sistemi di regolazione ed interagire con gli utenti. L'integrazione di informazioni provenienti da sensori di varia natura in una unica piattaforma informativa permette di creare una base dati condivisa in tempo reale cui possono agganciarsi i sistemi intelligenti per le ottimizzazioni. Questo dà la possibilità di ottenere abbattimenti dell'energia consumata impossibili da ottenere con approcci parziali e contemporaneamente un abbattimento dei costi della rete infrastrutturale in quanto condivisa da diverse applicazioni. Questo rende l'innovazione molto più appetibile (minori consumi a costi di investimento più bassi) per la costruzione delle cosiddette "smart cities".

### SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Uno dei riferimenti più significativi è il documento SEC(2009) 1295 della Commissione Europea (La technology roadmap per il SET PLAN) dove "per raggiungere nel 2020 una riduzione delle emissioni di gas serra del 40 % attraverso l'uso sostenibile e la produzione di energia è necessario adottare approcci sistemici ed innovazione organizzativa che includono efficienza energetica, tecnologie "low carbon" e gestione "smart" della produzione e della domanda di energia, in particolare misure su edifici, reti energetiche locali e trasporti dovrebbero essere i componenti principali delle iniziative. Per questi motivi la tematica "smart city" è presentata come una delle sette misure prioritarie per affrontare la problematica energetico-ambientale con un investimento di 10-12 miliardi di euro proponendola come terza misura in termini di consistenza dell'investimento europeo.

In tale direzione sono state avviate due iniziative fondamentali che fanno parte del percorso di attuazione del SET PLAN, la "Smart City European Industrial Initiative" ed il Joint Program su "Smart City" della EERA (European Energy Research Alliance) che vedranno lo sviluppo delle loro attività nel prossimo anno coinvolgendo istituzioni di ricerca ed aziende di tutti gli stati dell'unione europea. ENEA in particolare

coordina le attività di EERA ed ha un ruolo significativo nel gruppo sulle Smart City dove coordina la rete italiana ed una delle quattro aree in cui sono organizzate le attività europee (urban network integration).

A fronte della notevole e crescente attenzione internazionale (anche negli USA è stato avviato un importante programma sulle Smart Cities), stanno iniziando a svilupparsi progetti pilota di varia natura.

Tra le varie iniziative internazionali si può citare il progetto “Amsterdam Smart City”, il progetto “Malaga Smartcity”, ed il progetto “Boulder Colorado” in cui reti energetiche urbane vengono interconnesse tra loro con modalità diverse.

In Italia esistono esperienze separate nei vari settori citati (illuminazione ad alta efficienza, mobilità sostenibile, edifici a controllo remoto) ma non esiste un progetto che mira allo sviluppo di una piattaforma integrata che permetta di condividere le informazioni sensoristiche raccolte tramite il sistema di illuminazione pubblica ed utilizzarle in modo trasversale secondo un approccio adattivo.

## STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Il settore di partenza dove la rete urbana si sviluppa maggiormente è quello della illuminazione pubblica che per sua natura presenta una diffusione capillare sul tessuto urbano. Un particolare approccio, che va sotto il nome di telegestione punto-punto si basa sulla tecnologia PLC (Power Line Communication), prevede l’installazione su ogni palo di illuminazione di un prodotto hardware che intercetta la linea elettrica e vi immette (o decodifica) contenuti digitali. Questo permette la regolazione (remota) della potenza di alimentazione della lampada e la diagnostica remota con un consistente risparmio di energia elettrica e di costi di manutenzione. Attualmente rappresenta la migliore soluzione in termini di costi benefici.

Da alcuni anni è stata sviluppata una tecnologia PLC che è in grado di sostenere un flusso di dati molto più elevato e con significativa accuratezza. Questo progresso fa sì che si possa trasformare il palo della illuminazione in un palo intelligente che possa essere la testa ponte sul suolo urbano di una serie di sensori di varia natura ovvero essere il punto di raccolta di sensori che operano nelle vicinanze del palo (fisse o mobili) e che comunicano in modalità wireless con il palo stesso (es: tecnologia Zigbee, piccole antenne digitali a bassa potenza) ovvero infine un punto di rilascio di dati o informazioni verso altre componenti urbane fisse o mobili.

I dati raccolti (o inviati) dai pali intelligenti, vengono poi inviati al quadro elettrico da dove con diverse modalità possono essere rielaborati in loco (se presente una unità di calcolo distribuita) oppure avviati su reti ad alta velocità verso un server di raccolta dove altri programmi possono provvedere alla analisi dei dati o alla loro visualizzazione da parte di un utente tramite programmi e connessioni sulla rete internet ovvero a sistemi di regolazione.

Strutture diverse esistono per i veicoli dove uno sviluppo interessante è stato fatto per le flotte dei mezzi pubblici che in alcuni casi sono in grado di comunicare real time con un server (uno dei casi più interessanti è quello dei mezzi elettrici dove c’è necessità di supervisionare lo stato di carica delle batterie). Generalmente i sistemi per il rilievo della mobilità (monitoraggio dei flussi di traffico) sono indipendenti ed i dati non sono utilizzati se non in maniera parziale dai mezzi pubblici.

Strutture ancora diverse esistono per le reti di edifici ma in genere questi si limitano ad una collezione dei dati senza dei veri e propri modellatori di rete o sistemi in grado di effettuare una reale diagnostica di una rete urbana di edifici.

In ogni caso, attualmente non esistono soluzioni che integrano tali tematiche.

Ancora, benché ci sia una importante crescita di prodotti *smart*, lo sforzo industriale è orientato maggiormente su prodotti hardware-software (sensori, smart meters, linee e protocolli di comunicazione, ambienti di monitoraggio) dove si realizzano i massimi profitti, lasciando molte lacune sulla modellistica dove invece progressi significativi potrebbero garantire un forte ritorno sociale in termini di risparmio energetico e funzionalità. E’ proprio sullo sviluppo della modellistica che si concentra il presente progetto unendo gli sforzi delle eccellenze universitarie operanti su questo argomento in Italia.

## OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo finale consiste nella progettazione e sviluppo di una serie di modelli per la realizzazione di una piattaforma tecnologica ad architettura aperta in grado di integrare un sistema di illuminazione ad alta efficienza ed adattivo, un sistema di monitoraggio della mobilità, un sistema di gestione di una flotta di mezzi elettrici ed un sistema di supervisione di una rete di edifici. L'architettura comprende al suo interno anche la gestione di una serie di sensori installabili sui pali della illuminazione, una rete digitale, una banca dati condivisa, una serie di applicazioni intelligenti per la supervisione ed il controllo ed infine programmi per l'interazione remota (internet) di utenti pubblici o certificati. La piattaforma verrà messa a punto e sperimentata in condizioni di test facility (in aree private o su situazioni urbane molto semplificate). Si rimanda ad un successivo programma la realizzazione di un dimostrativo a scala urbana i cui costi non possono rientrare nell'attuale programma annuale.

## DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Le attività del Progetto sono la evoluzione tecnologica di attività avviate nelle precedenti annualità nell'area della "Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica" e discendono soprattutto dalle attività del progetto 3.2 sulla illuminazione pubblica.

In particolare nel progetto 3.2 "Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica" del Piano Annuale di Realizzazione 2008-2009 viene sviluppato l'approccio della smart street e del palo intelligente che mira allo sviluppo di "profili di attività" correlati al passaggio di persone e veicoli in corrispondenza del palo intelligente e alla elaborazione predittiva di tale profilo nelle ore successive (tale modello "puntiforme" verrebbe poi applicato punto-punto a tutta la rete. In tale attività si sviluppano inoltre componenti ad alta efficienza basati su LED e su lampioni a led con alimentazione fotovoltaica (Stapelia), si sviluppano sperimentazioni su un paese pilota (Marcallo con Casone), si costruisce un network (Lumiere) per la penetrazione di tali tecnologie nel territorio.

Da questa attività, nel PAR 2010 verrà ereditata la struttura dei pali intelligenti ma ridefinita la modellistica secondo un approccio ad *archi* ai fini del loro impiego per il monitoraggio del traffico oltre che per la regolazione della illuminazione. Tale approccio permette la interpolazione della regolazione anche laddove i pali non vengano strumentati (per abbattere i costi), permette una diagnostica delle condizioni atipiche e l'estensione della predizione (short e long term sia spaziale che temporale). Inoltre per ottenere il monitoraggio del traffico occorre una consistente estensione della modellistica che non può più essere puntiforme (il dato di flusso e velocità istantanea risentono di eccessive imprecisioni statistiche) ma operare su un tratto stradale e raggiungere la capacità di identificare una buona percentuale di veicoli tra due pali posti a media distanza al fine di risalire alla stima del tempo di percorrenza media che è ormai la variabile primaria sia per le pianificazioni di percorso che per la regolazione del traffico. Si studierà inoltre la possibilità di integrazione di tali smart sensor direttamente sul corpo del lampione. Verrà utilizzata la struttura sperimentale prevista per testare, in condizioni controllate, le tecnologie che verranno sviluppate nel PAR 2010. Verrà integrata la attività di diffusione del Network Lumiere integrando un orientamento verso la "smart town" selezionando le tecnologie più consolidate e competitive.

Oltre alla tematica sulla illuminazione pubblica altri elementi del PAR 2008-2008 verranno integrati nel progetto 3.2.1.

In particolare, nel progetto 3.4 "Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva" del PAR 2008-2009, si sviluppano sistemi di monitoraggio e di predizione a breve e medium term del consumo energetico di un edificio ed inoltre nel progetto 3.3 "Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile" si sviluppano sistemi di domotica. Nel PAR 2010 tali sistemi verranno integrati nella piattaforma smart ed il loro utilizzo verrà esteso dal singolo edificio alla "rete di edifici interattivi" per cui è prevista una sperimentazione ad hoc. Il vantaggio di integrare il controllo di una rete di edifici nella illuminazione pubblica risiede nel fatto che in una zona urbana dove sia installata una rete PLC sulla illuminazione pubblica, è sufficiente dotare gli edifici di una centralina di monitoraggio dei consumi (elettrici e termici per le diverse utenze, temperatura, e stato dei setpoint di regolazione) anch'essa con tecnologia PLC) ed il palo intelligente di ricevitori ZigBee (comunicante con la centralina) per avere un monitoraggio efficace senza

dover cablare ne l'area urbana ne l'edificio stesso quindi a costi molto più bassi e competitivi. In prospettiva (in un successivo programma) la "centralina" dell'edificio potrà essere interattiva sia nei confronti dell'utente che della rete e fondersi con lo smart meter per evolvere verso l'"agente intelligente" dell'edificio. Questo traguardo costituisce l'elemento di base per il nuovo concetto di "interactive building" che si sta affermando nel contesto EERA Smart City ed in generale nei contesti di ricerca. Nel presente progetto viene sviluppata soprattutto la modellistica predittiva della rete di edifici e l'aspetto diagnostico su cui in futuro si baserà l'interazione la fine di prevedere/provvedere ad errori di gestione (automazione errata o comportamento scorretto delle persone).

Nel progetto 3.5 "Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto" del PAR 2008-2009 si sviluppano tecnologie per la gestione delle batterie dei veicoli elettrici ed architetture urbane per la ricarica rapida. Nel PAR 2010 tali sistemi verranno connessi alla piattaforma smart per essere integrati ai dati di traffico e di utenza ed elaborata una gestione ottimale del veicolo, delle batterie e delle ricariche.

Verrà sviluppata una piattaforma ICT che integra tutte le attività sopra menzionate e permette di creare un "core" di dati condivisi, alimentato dai dati provenienti dai sensori, su cui le varie applicazioni specifiche opereranno.

Infine, verrà sviluppata una intensa attività di scambio e partecipazione a network europei ed in particolare alla costruzione del Joint Program Smart City di EERA ed alla Smart City European Industrial Initiative.

Le spese per la realizzazione del Progetto, che prevede prevalentemente attività di modellistica, riguardano principalmente spese di personale. Per le attività sperimentali si prevede anche di utilizzare attrezzature in possesso dei partner universitari.

## ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2010

### **A. Progettazione della architettura funzionale per una piattaforma integrata per la smart city e realizzazione di un frame-work software prototipale**

Verrà progettata la architettura funzionale per un sistema integrato che includa le funzionalità di raccolta dati dai sensori tramite il sistema della illuminazione pubblica e trasporto (eventualmente con analisi distribuita) fino ad un server dati; le applicazioni di elaborazione, diagnostica e gestione ottimale adattiva, riferentesi alla gestione della illuminazione pubblica, del monitoraggio della mobilità, della gestione di una flotta di veicoli elettrici ed infine di una rete di edifici.

Verrà realizzato un frame-work software sperimentale per l'integrazione dei vari moduli (illuminazione pubblica, mobilità, edifici) in una unica piattaforma.

#### Risultati/Deliverable:

- Report sulla architettura funzionale della piattaforma integrata per la smart city

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre, Università di Pisa

Durata: Gennaio 2011 –Dicembre 2011

### **B. Sviluppo della intelligenza per la Smart Lighting e sviluppo del sistema sensoriale**

Verrà sviluppato un modello per la gestione adattiva di una rete di illuminazione. Tale modello include la elaborazione dei dati provenienti dai sistemi sensoriali posizionati sui pali intelligenti ed integra le seguenti funzionalità:

- Sviluppo di modelli mensili, settimanali e orari degli indici di attività (presenza persone e veicoli) rilevati sui "pali intelligenti" e definizione dei profili di utenza (domanda di illuminazione).

- Diagnostica di condizioni anomale dei sensori, picchi di utenza (congestioni di traffico, eventi che determinano ampi flussi di persone), eventi incidentali (che richiedono forte richiesta di illuminazione) o condizioni critiche (climatiche o sensoriali o perdita di efficienza lampade).
- Analisi di correlazione dei punti di rilievo smart e stima dei profili di utenza su tutti i punti luce della rete di illuminazione.
- Predizione futura a breve e medio termine dei profili di utenza su tutti i punti luce controllati.
- Determinazione delle potenze di regolazione tramite sistemi di ottimizzazione evolutiva.
- Attuazione delle regolazioni tramite colloquio con il sistema di regolazione dei flussi luminosi.

Verrà inoltre sviluppato un prototipo per un sistema sensoriale integrato in un lampione in modo da rendere "intelligente" il lampione e permettere la comunicazione dei dati al server tramite la linea elettrica. La "testa sensoriale" verrà sperimentata in laboratorio su un modello sperimentale.

Risultati/Deliverable:

- Report sulla modellistica utilizzata per la gestione adattiva della illuminazione.
- Report sul design e qualificazione della testa sensoriale del lampione intelligente.

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre, Politecnico Milano, Università di Pisa

Durata: Gennaio 2011 – Dicembre 2011

**C. Sviluppo di un sistema di monitoraggio e gestione della mobilità veicolare attraverso la rete di illuminazione pubblica**

L'obiettivo del task è l'integrazione sul sistema di illuminazione pubblica di un sistema di gestione ottimale della mobilità, con particolare riferimento a flotte di veicoli pubblici e/o veicoli elettrici (gestione percorsi, gestione veicoli e batterie, gestione sistemi di ricarica rapida, mobility on demand, detezione e trattamento delle criticità di traffico). Verranno sviluppati strumenti per la raccolta ed elaborazione automatica di dati e informazioni sullo stato corrente del traffico veicolare e pedonale, per la previsione dell'evoluzione dello stato del traffico nell'immediato futuro e per l'identificazione di situazioni critiche o anomale ed infine per il monitoraggio del mezzo.

Tali strumenti si baseranno su sistemi sensoriali posizionati sui pali intelligenti e su veicolo ed integreranno le seguenti funzionalità:

- Elaborazione delle immagini provenienti dai lampioni intelligenti con capacità di analisi della scena, conteggio dei veicoli nelle diverse corsie, analisi delle velocità medie, discriminazione dei mezzi pubblici, conteggio dei flussi delle persone passanti. Sperimentazione su registrazioni raccolte in aree urbane.
- Ricostruzione dello stato attuale del traffico veicolare e previsione nell'immediato futuro della sua evoluzione a partire dagli attuali valori e dalla serie storica dei dati forniti dai lampioni intelligenti del sistema di illuminazione pubblica. Identificazione di criticità e situazioni anomale. Test su sistema di simulazione di una situazione urbana a bassa complessità.
- Gestione del veicolo secondo la logica della mobility on demand. A tal fine verrà approntato l'equipaggiamento strumentale di un veicolo elettrico con sistemi acquisizione delle variabili più importanti e sistema di comunicazione con la linea di illuminazione e con la piattaforma integrata in modo da permetterne la gestione e la comunicazione con l'utente. Il sistema verrà sperimentato in una area privata con cicli di percorso quotidiani. Verrà inoltre effettuata una limitata sperimentazione in area urbana in situazioni di bassa complessità.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sul sistema di analisi immagini e relativa sperimentazione.

- Rapporto tecnico sulla stima in linea del traffico dedotta dai pali intelligenti e previsione a breve termine.
- Rapporto tecnico sui sistemi di bordo del veicolo elettrico, sulla interazione con il sistema di illuminazione pubblica ed infine sulla sperimentazione in area privata (test facility) e sui test funzionali in area urbana.

Principali collaborazioni: Università di Parma, Università di Roma La Sapienza

Durata: Gennaio 2011 – Dicembre 2011

#### **D. Sviluppo del sistema di predizione ed interazione della rete di edifici**

Sviluppo di un sistema di supervisione di una rete di edifici (tipicamente una rete immobiliare del settore terziario pubblico) che interagiscono con la struttura di trasporto della informazione sulla rete della pubblica illuminazione. Il sistema include funzionalità di modellazione, diagnostica e predizione del consumo energetico della intera rete. Il modello predittivo avrà caratteristiche di modellazione evolutiva e terrà sotto controllo, oltre ai consumi elettrici ed energetici, anche gli aspetti connessi alla utenza ed ai fattori climatici. Sarà quindi in grado di monitorare cambiamenti di comportamento, effetti globali dei fattori climatici, effetti dei cambiamenti tecnologici. Il sistema verrà qualificato su una reale rete di edifici attraverso la collaborazione di gestori di patrimonio immobiliare pubblico. La comunicazione con l'edificio avverrà tramite un sistema che rappresenta l'evoluzione dello smart metering attuale verso il concetto di "agente distribuito ad architettura aperta". Tale sistema prevede da un lato la comunicazione con il sistema di supervisione e dall'altro la interazione con l'utente per segnalare elementi diagnostici, dare orientamenti di gestione sostenibile dell'edificio e ricevere informazioni.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla modellazione e predizione evolutiva dei consumi energetici della rete di edifici
- Rapporto tecnico sul sistema di interazione tra sistema di supervisione ed utente

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre, Università di Siena, Assoimmobiliare

Durata: ottobre 2010-settembre 2011

#### **E. Partecipazione ai network europei ed identificazione di un modello di smart town competitivo per applicazioni a breve termine**

Il progetto prevede la partecipazione a network europei in particolare verso le iniziative "EERA (European Energy Research Alliance) Smart City" e "Smart City European Industrial Initiative", entrambe iniziative avviate dal SET Plan Europeo. Nel primo network lo scopo è quello di mappare le iniziative europee sulla smart city e l'ENEA ha la funzione di delegato nazionale italiano, nel secondo caso l'obiettivo è quello di costruire sistemi dimostrativi a livello cittadino.

La seconda parte del task si concentra nella identificazione, all'interno delle tecnologie sviluppate, di quel sottoinsieme che meglio si presta ad una penetrazione nel territorio. In questo senso verrà condotta una analisi tecnico-economica per l'applicazione di una tecnologia smart town basata sul sistema della pubblica illuminazione ed applicata ad uno o due territori pilota di differente tipologia. Lo studio ha lo scopo di far emergere quegli aspetti che potrebbero vedere applicazioni competitive a breve termine e quindi essere proposte ai comuni già aderenti al Network Lumiere (circa 400 comuni tra i 5000 ed i 50000 abitanti, vedi PAR 2008-2009 Illuminazione Pubblica) che verrà in tal modo esteso verso le tematiche della smart city.

Risultati/Deliverable:

- Partecipazione a EERA Smart City e Smart city Industrial Initiative.
- Report sullo studio di un modello competitivo di Smart Town. Studi su specifiche applicazioni territoriali

Principali collaborazioni: Univ. Milano Bicocca, Associazioni ESCO, ANCI, Associazioni comunali, Provincie, Comuni del Network Lumiere

Durata: Gennaio 2011 – Dicembre 2011

#### **COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI**

L'attività di comunicazione e diffusione dei principali risultati sia alla comunità scientifica che al largo pubblico generalmente interessato ai temi concernenti l'illuminazione pubblica è già molto strutturata e perseguita nel progetto 3.2 del PAR 2008-09.

Sarà quindi agevole sviluppare una buona linea di comunicazione sui risultati del presente progetto, integrando le tematiche di diffusione già previste sulla illuminazione pubblica con quelle specifiche della "smart town".

La divulgazione avverrà tramite diverse modalità (workshops, rapporti tecnici, brochure, sito web, questionari sulla comprensione della potenzialità offerte dall'approccio smart town, comunicazioni ai comuni). I costi di queste attività sono inclusi nei preventivi dei diversi obiettivi progettuali.

#### **BENEFICI PREVISTI PER L'UTENTE DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ**

Il beneficio più significativo dell'utente è il potenziale abbattimento dei consumi elettrici di importanti servizi pubblici in particolare connessi con l'illuminazione pubblica, con la mobilità pubblica e la mobilità elettrica, con reti di edifici pubblici. Tale risparmio energetico, cui corrisponde un consistente risparmio ambientale di CO2 evitate (in particolare in area urbana), deriverebbe dal consolidamento dell'approccio "smart town" che avrebbe come ulteriore effetto sia la diminuzione dei costi energetici (e quindi dei costi dei servizi stessi) e sia la migliore efficacia del servizio stesso (garanzia di illuminazione controllata, mobility on demand, orientamento nella gestione degli edifici). A fronte di tali vantaggi, lo sviluppo e la penetrazione di tali tecnologie di integrazione porterebbe anche allo sviluppo di un indotto produttivo, non indifferente, la possibilità di un maggiore accesso del cittadino alla gestione della energia elettrica con una conseguente sensibilizzazione alle tematiche della sostenibilità.

**Attività di ricerca 3.2.1 “Tecnologie per il risparmio elettrico nell’illuminazione pubblica”**  
**Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Progettazione della architettura funzionale per una piattaforma integrata per la smart city e realizzazione di un frame-work software prototipale	Nov. 2011	810	57	0	0	0	100	157
B	Sviluppo della intelligenza per la Smart Lighting e sviluppo del sistema sensoriale	Nov. 2011	900	63	35	5	0	200	303
C	Sviluppo ed integrazione di un sistema di monitoraggio e gestione della mobilità veicolare	Nov. 2011	1700	119	15	10	0	190	334
D	Sviluppo del sistema di predizione ed interazione della rete di edifici	Nov. 2011	800	56	0	0	0	80	136
E	Diffusione dei risultati e partecipazione ai network europei	Nov. 2011	500	35	0	5	0	30	70
<b>TOTALE</b>			<b>4.710</b>	<b>330</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>600</b>	<b>1.000</b>

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionale