


| | | |
|---|---|-------------------------|
|  | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO-RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING - DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 1 di 1 |
| | | Rev. 1 of 01/09/2016 |





| | |
|---|---|
| TITOLO | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO-RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING - DESCRIZIONE TASK FORCE CARM |
| CLASSIFICAZIONE: I | |
| Il presente Documento è proprietà intellettuale del Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare dell'ENEA Questo documento non può essere copiato né distribuito senza autorizzazione scritta della Direzione Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare dell'ENEA | |



Organizzazione con sistema di gestione
certificato secondo la norma
UNI EN ISO 9001:2008

Rev 0 emessa il 15 dicembre 2013

| | | |
|-----------------------|--------------------------|----|
| Copia controllata | <input type="checkbox"/> | n° |
| Copia non controllata | <input type="checkbox"/> | |
| Destinatario: | | |
| Data di consegna: | | |

| | | | G. Dattoli G. P. Gallerano A. A. Tuccillo | L. Di Pace | A. A. Tuccillo | A. Pizzuto |
|--------|----------------------------|--------------------|---|---|--|---|
| | | | Firma | Firma | Firma | Firma |
| Rev. 0 | DESCRIZIONE Emissione | Data 15/12/2013 |  |  |  |  |
| Rev. 1 | DESCRIZIONE Revisione 1 | Data | 30/6/2016 | 30/6/2016 | 30/8/2016 | 1/9/2016 |

LISTA DI DISTRIBUZIONE**(Distribuzione registrata)****Copie controllate****Copie non controllate**

- **Tutti i componenti della TF CARM elencati al § 4. Personale componente la Task Force**
-
-
-
-
-

Distribuzione interna ENEA:***Archiviato nel sistema di gestione documenti di FSN******<http://utfus-wbdms.frascati.enea.it/>******Distribuzione esterna all'ENEA:***

| | | |
|-------------------|--|--------------------------|
| ENEA - FSN | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO- RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 3 di 3 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |

| Storia delle Revisioni | | |
|------------------------|------------|-------------|
| Rev | Data | Modifiche |
| 0 | 15/12/2013 | Emissione |
| 1 | 30/06/2016 | Revisione 1 |

| | | |
|-------------------|--|--------------------------|
| ENEA - FSN | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO- RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 4 di 4 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |


INDICE

1. Introduzione 6
2. Obiettivo della Task Force 6
3. Compiti della Task Force 7
4. Personale componente la Task Force 8

| | | |
|-------------------|--|-----------------------|
| ENEA - FSN | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO-RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 5 di 5 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |

ELENCO DELLE ABBREVIAZIONI

| | |
|------------|---|
| CARM | Cyclotron Auto-Resonance Maser |
| CW | Continuous Wave |
| DEMO | DEMONstration Power Plant |
| ECRH | Electron Cyclotron Resonance Heating |
| FAST | Fusion Advanced Studies Torus |
| FTU | Frascati Tokamak Upgrade |
| ITER | International Thermonuclear Experimental reactor |
| RF | Radiofrequenza |
| FSN | Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare |
| FSN-FUSPHY | Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare – Divisione Fisica della Fusione |

| | | |
|---|---|-----------------------|
|  | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO-RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 6 di 6 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |

1. Introduzione

In molte macchine per la fusione termonucleare controllata sono stati efficacemente impiegati impianti di riscaldamento addizionale del plasma basati sull'interazione di onde elettromagnetiche alla frequenza di risonanza di ciclotrone degli elettroni (ECRH), sfruttando la possibilità, intrinseca in questa tecnica, di una deposizione localizzata dell'energia e l'impiego di strutture di lancio quasi ottiche.

Per l'impianto ECRH di ITER, macchina che opera con un campo magnetico di 5.7 Tesla, sono in uno stadio avanzato di collaudo generatori di tipo gyrotron in grado di fornire una potenza di riscaldamento di circa 1 MW CW alla frequenza di 170 GHz (sono stati già raggiunti 1000 secondi dai gyrotron russi mentre quelli EU entrano ora nella fase di collaudo).

Per DEMO, e per i futuri reattori a fusione, le alte temperature associate con il plasma ignito richiederanno frequenze ECRH più elevate di quelle attualmente usate per raggiungere una deposizione centrale della potenza RF.

Le sorgenti di tipo gyrotron potrebbero incontrare notevoli problemi per raggiungere elevate potenze medie in questo intervallo di frequenze. Infatti, per limitare le elevate densità di potenza che si verrebbero a determinare nella cavità risonante e le conseguenti elevate perdite RF sulle pareti della stessa, i gyrotron richiederebbero cavità sovradimensionate, cioè molto grandi se confrontate con la lunghezza d'onda di operazione. Questo comporta la necessità di lavorare in cavità su modi elettromagnetici TE_{mn} o TM_{mn} con indici modali molto grandi che, a seguito di instabilità non prevedibili, potrebbero degenerare in modi spuri, pregiudicando le prestazioni del gyrotron.

Una possibile alternativa ai gyrotron è costituita dai generatori di tipo Cyclotron Auto-Resonance Maser (CARM) che lavorano con fasci elettronici molto più relativistici di quelli dei gyrotron. I singoli elettroni del fascio percorrono orbite elicoidali, con assi paralleli a quelli del CARM, con frequenza angolare pari a quella di ciclotrone determinata da campi magnetici statici assiali. Essi rimangono in sincronismo con il campo RF generato in cavità durante l'intero processo di trasferimento dell'energia cinetica dal fascio al campo elettromagnetico. Dato l'elevato valore del fattore relativistico γ , per effetto del conseguente "Doppler shift", la frequenza di lavoro dei CARM risulta più elevata di quella dei gyrotron a parità di campo magnetico statico.

2. Obiettivo della Task Force

Un'analisi preliminare della fattibilità di tale generatore è stata condotta in passato da un gruppo di studio formato da ricercatori e tecnici delle ex Unità Tecniche UTFUS e UTAPRAD dell'ENEA ed è sinteticamente descritta nel documento allegato.

La costituenda Task Force, che include personale della Divisione Fisica della Fusione (FUSPHY) del neo-costituito Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare (FSN), ha come obiettivo di lungo termine la realizzazione di un prototipo di un generatore di tipo CARM in grado di fornire una potenza $P \geq 500\text{kW}$ in impulsi di durata compresa tra 0.5 e 2 s, che possa essere provato efficacemente su FTU (se ancora in esercizio) o su DTT, macchina proposta ed in fase di approvazione. Esperimenti di riscaldamento ECRH, a frequenze nell'intervallo 200÷240 GHz, potranno essere condotti in prima armonica in scenari di assorbimento "downshifted" e in seconda

| | | |
|-------------------|--|-----------------------|
| ENEA - FSN | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO-RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 7 di 7 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |

armonica per campi di 3 – 4T.

3. Compiti della Task Force

La Task Force affronterà, dal punto di vista teorico, la modellistica del fascio di elettroni e della generazione RF, e la progettazione esecutiva e costruzione dei seguenti sottosistemi e componenti di un prototipo di sorgente CARM:

- Cannone elettronico di tipo diodo ($V_A = 500 - 700$ kV ; $I_{MAX} = 15$ A);
- Alimentatore AT e modulatore d'impulso;
- Solenoide superconduttore a bobine segmentate in grado di fornire circa 7 T sull'asse;
- Cavità risonante di interazione fascio-RF in guida d'onda a sezione circolare o ellittica, terminata con riflettori di Bragg;
- "Depressed collector" per il recupero dell'energia residua della corrente del fascio di elettroni;
- Sistema da vuoto e struttura meccanica di supporto;
- Sistema di lancio quasi-ottico su FTU
- Diagnostiche RF per alta potenza media e per l'analisi di spettro.
- Unità di controllo, interfacciamento ed acquisizione dati;
- Infrastrutture (Sala macchina, Area sperimentale, Sala Controllo)

Le attività della Task Force sono suddivise in due fasi temporali che consentono di sviluppare un programma di ricerca quinquennale per il test del prototipo di sorgente CARM di alta potenza. Tali fasi, con i relativi costi indicativi, sono riportate nella seguente tabella.

| | | |
|-------------------|---|------------------------------|
| ENEA - FSN | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO-RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 8 di 8 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |

| | Fase I | Fase II | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|
| | Mesi 0 - 36 | Mesi 37 - 60 (e oltre) | |
| Obiettivo | P > 100 kW T ≥ 50 μs | P ≥ 500 kW T ≥ 10 ms | |
| Task | Costo (k€) | Costo (k€) | Totale (k€) |
| Simulazione & progetto | 100 | 100 | 200 |
| Gun | 500 | | 500 |
| Cavità risonante | 100 | 150 | 250 |
| Modulatore (500 – 700 kV) | 850 | 2000 | 2850 |
| Alimentatore AT | 250 | 1000 | 1250 |
| Magneti | 250 | | 250 |
| Collettore depresso | | 200 | 200 |
| Sistema da vuoto | 250 | 250 | 500 |
| Strutture meccaniche | 100 | 100 | 200 |
| Diagnostiche | 200 | 400 | 600 |
| Lanciatore | | 200 | 200 |
| Infrastrutture e Controlli | 200 | 300 | 500 |
| COSTO TOTALE (k€) | 2800 | 4700 | 7500 |

Gli impegni di spesa previsti nella prima fase troveranno copertura sulla Commessa FSN-FUSPHY - D3ZE coerentemente con la disponibilità finanziaria delle entrate programmatiche.

4. Personale componente la Task Force


Il personale scientifico e tecnico coinvolto nel progetto è attualmente in organico nella Divisione Fisica della Fusione (FSN-FUSPHY) del Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare (FSN) del Centro Ricerche Frascati dell'ENEA.

L'impegno complessivo previsto è di 9.7 persone-anno (ppy), ripartito come da Tabella:

| | FSN-FUSPHY (ppy) |
|----------------------|---------------------|
| Ricercatori | 7 |
| Tecnici | 2.35 |
| Staff amministrativo | 0.35 |
| Totale | 9.7 |

Il coinvolgimento delle risorse umane nella Task Force sarà aggiornata periodicamente in base alle attività effettivamente in corso. Si segnala che 1 ppy in organico a FUSPHY-SAD è attualmente coinvolto in un'attività di diagnostiche Terahertz per i plasmi e nell'ambito della partecipazione a proposte di progetto congiunte (EUROfusion Enabling Research. Questo personale potrebbe anche essere coinvolto nello sviluppo della sorgente CARM per la diagnostica in cavità.

Le risorse umane di seguito elencate, e riportate nel documento Mod. UTFUS PSO 01 01 13 sono in grado di fornire, per la percentuale di impegno ivi riportata, il supporto tecnico-scientifico necessario al progetto con una consolidata esperienza nei campi di: Fisica del Plasma, sorgenti, sistemi e dispositivi a Radio-Frequenza e a onde millimetriche, sorgenti "Free Electron Laser", modellizzazione dell'interazione fascio/onda e.m., lay-out di sistema, sistemi da vuoto, strumentazione e controlli, impianti elettrici dc/ac a bassa e alta tensione, progettazione e costruzione meccanica.

| | | |
|---|---|-----------------------|
|  | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO-RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 10 di 10 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |

| Nome e Cognome | Matricola ENEA | Impegno [%] | Note |
|-----------------------------|----------------|-------------|--|
| Marcello Artioli | 92362 | 25 | Gun, Diagnostiche e Controlli |
| Massimo Aquilini | 91416 | 30 | Supporto Tecnico |
| Ezio Campana | 15245 | 40 | Infrastrutture e Layout Impianto |
| Mauro Cappelli | 92162 | 30 | Ingegneria di sistema e infrastrutture |
| Mariano Carpanese | 91387 | 30 | Magneti |
| Silvio Ceccuzzi | 92630 | 35 | Modelling, Simulazioni e Misure |
| Franco Ciocci | 21505 | 30 | Modelling, Simulazioni e Misure |
| Giuseppe Dattoli | 26135 | 40 | Management & Design |
| Domenico De Meis | 28185 | 30 | Infrastrutture e Sicurezza Convenzionale |
| Sergio Di Giovenale | 29670 | 30 | Supporto Tecnico |
| Emanuele Di Palma | 90778 | 50 | Modelling e Simulazioni |
| Luigi Di Pace | 30427 | 5 | Responsabile Qualità |
| Alessandro De Stefano | 92537 | 30 | Supporto Amministrativo |
| Andrea Doria | 31350 | 40 | Coordinamento Reporting di Progetto Diagnostiche e Controlli |
| Gian Piero Gallerano | 38045 | 30 | Coordinatore Infrastrutture e Supporto |
| Emilio Giovenale | 41264 | 40 | Diagnostiche e Controlli |
| Alessandro Lampasi | 92176 | 15 | Alimentazioni Elettriche |
| Luca Mezi | 55783 | 20 | Gun e Diagnostiche |
| Francesco Mirizzi | CREATE | 70 | Infrastrutture e Coordinamento Impianto |
| Federico Nguyen | 92670 | | Modelling e Simulazioni |
| Alberto Petralia | 92405 | 40 | Diagnostiche e Controlli |
| Piero Petrolini | 91153 | 30 | Supporto Tecnico |
| TBD | | 15 | Responsabile Sicurezza e Radioprotezione |
| Bernardo Raspante | 91847 | 30 | Supporto Tecnico |
| Gian Luca Ravera | 70835 | 50 | Modelling e Simulazioni |
| Giuliano Rocchi | 91904 | 30 | Supporto Tecnico |
| Elio Sabia | 74275 | 30 | Modelling e Simulazioni |
| Ivan Spassovsky | 91853 | 70 | Coordinatore Progetto e Costruzione |
| Benedetto Tilia | 83125 | 30 | Supporto Tecnico |
| Pietro Zito | 92516 | 15 | Alimentazioni Elettriche |

La ripartizione per attività della Task Force è data nelle tabelle seguenti.

| <i>1 - Coordinamento Task Force</i> | |
|-------------------------------------|--|
| Nome e Cognome | Attività |
| Giuseppe Dattoli | Management & Design |
| Ivan Spassovsky | Coordinatore Progetto e Costruzione |
| Gian Piero Gallerano | Coordinatore Infrastrutture e Supporto |
| Luigi Di Pace | Responsabile Qualità |
| Alessandro De Stefano | Supporto Amministrativo |
| Stefano Polenta | Responsabile Sicurezza e Radioprotezione |

| <i>2 - Sub-Task HVPS e Modulatore</i> | |
|---------------------------------------|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Alessandro Lampasi | Coordinamento sub-task |
| Andrea Doria | |
| Mariano Carpanese | |
| Francesco Mirizzi | |
| Ivan Spassovsky | |
| Pietro Zito | |

| <i>3 - Sub-Task Realizzazione Gun</i> | |
|---------------------------------------|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Emanuele Di Palma | Coordinamento sub-task |
| Marcello Artioli | |
| Giuseppe Dattoli | |
| Andrea Doria | |
| Luca Mezi | |
| Federico Nguyen | |

| <i>4 - Sub-Task Magneti</i> | |
|-----------------------------|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Mariano Carpanese | Coordinamento sub-task |
| Franco Ciocci | |
| Giuseppe Dattoli | |
| Andrea Doria | |
| Alberto Petralia | |
| Elio Sabia | |
| Ivan Spassovsky | |

| <i>5 - Sub-Task Trasporto Fascio</i> | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Franco Ciocci | Coordinamento sub-task |
| Giuseppe Dattoli | |
| Emanuele Di Palma | |
| Andrea Doria | |
| Federico Nguyen | |
| Alberto Petralia | |
| Elio Sabia | |
| Ivan Spassovsky | |

| <i>6 - Sub-Task Cavità Risonante e Braggs</i> | |
|---|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Andrea Doria | Coordinamento sub-task |
| Silvio Ceccuzzi | |
| Gian Piero Gallerano | |
| Emilio Giovenale | |
| Francesco Mirizzi | |
| Gian Luca Ravera | |
| Ivan Spassovsky | |

| <i>7 - Sub-Task Low Power Mode Converter</i> | |
|--|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Gian Luca Ravera | Coordinamento sub-task |
| Silvio Ceccuzzi | |
| Andrea Doria | |
| Francesco Mirizzi | |
| Ivan Spassovsky | |

| <i>8 - Sub-Task Output Mode Converter</i> | |
|---|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Francesco Mirizzi | Coordinamento sub-task |
| Silvio Ceccuzzi | |
| Andrea Doria | |
| Gian Luca Ravera | |
| Ivan Spassovsky | |

| <i>9 - Sub-Task Collettore Depresso e Beam-Dump</i> | |
|---|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Francesco Mirizzi | Coordinamento sub-task |
| Franco Ciocci | |
| Giuseppe Dattoli | |
| Emanuele Di Palma | |
| Alberto Petralia | |
| Gian Luca Ravera | |
| Ivan Spassovsky | |

| <i>10 - Ingegneria di Sistema e Infrastrutture</i> | |
|--|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Gian Piero Gallerano | Coordinamento sub-task |
| Francesco Mirizzi | |
| Ezio Campana | |
| Mauro Cappelli | |
| Domenico De Meis | |
| Giuliano Rocchi | |
| Benedetto Tilia | |

| <i>11 - Controlli, Acquisizione dati e Diagnostiche</i> | |
|---|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Emilio Giovenale | Coordinamento sub-task |
| Marcello Artioli | |
| Andrea Doria | |

| <i>12 - Teoria e Simulazioni</i> | |
|----------------------------------|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Elio Sabia | Coordinamento sub-task |
| Marcello Artioli | |
| Franco Ciocci | |
| Giuseppe Dattoli | |
| Andrea Doria | |
| Emanuele Di Palma | |
| Federico Nguyen | |

| <i>13 - Supporto Tecnico</i> | |
|------------------------------|------------------------|
| Nome e Cognome | Attività |
| Benedetto Tilia | Coordinamento sub-task |
| Massimo Aquilini | |
| Sergio Di Giovenale | |
| Piero Petrolini | |
| Bernardo Raspante | |
| Giuliano Rocchi | |

| | | |
|-------------------|--|--------------------------|
| ENEA - FSN | RI FUSPHY - CARM 01 - CYCLOTRON AUTO- RESONANCE MASER FOR PLASMA HEATING. DESCRIZIONE TASK FORCE CARM | Pag. 15 di 15 |
| | | Rev. 1 del 01/09/2016 |

PAGINA FINALE