



## Ricerca di Sistema elettrico

# Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali: rapporto sulle attività svolte

*M. Falchetta*

Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali: rapporto sulle attività svolte

M. Falchetta (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Energia elettrica da fonte solare

Obiettivo: Comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali

Responsabile del Progetto: Domenico Mazzei, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
1.1 PARTECIPAZIONE ITALIANA.....	5
2 ATTIVITÀ 2014/2015.....	6
2.1 TASK I.....	6
2.2 TASK II.....	6
2.3 TASK III.....	6
3 88° MEETING DEL COMITATO ESECUTIVO (EXCO) SOLARPACES.....	7
3.1 SITUAZIONE GENERALE.....	7
3.2 PRESENTAZIONI NAZIONALI.....	7
3.3 PRESENTAZIONE ITALIANA.....	10
3.4 RELAZIONI DEGLI OPERATING AGENT (OA) SULLE ATTIVITÀ DEI TASK.....	10
3.5 VISITE TECNICHE.....	12
<b>3.5.1</b> <i>Visita ai laboratori ENEA della Casaccia</i> .....	12
<b>3.5.2</b> <i>Visita allo stabilimento Archimede Solar Energy (ASE) di Massa Martana</i> .....	14
4 VALUTAZIONI CONCLUSIVE.....	15
5 ALLEGATI.....	16
5.1 ALLEGATO 1.....	17
5.2 ALLEGATO 2.....	22
5.3 ALLEGATO 3.....	33
5.4 ALLEGATO 4.....	37
5.5 ALLEGATO 5.....	46
5.6 ALLEGATO 6.....	52
5.7 ALLEGATO 7.....	60

## Sommario

SolarPACES (acronimo di Implementing Agreement for the establishment of a project on Solar Power and chemical Energy Systems) è l'Implementing Agreement dell'IEA (International Energy Agency) che si occupa specificamente di tecnologia solare termodinamica e di produzione di idrogeno solare per via termica. SolarPACES ha lo scopo di favorire il contatto fra ricercatori operanti nella R&S sui sistemi solari termodinamici e opera tramite un Comitato Esecutivo (exco) che si riunisce due volte l'anno e tramite gruppi di lavoro afferenti a 6 Task specifici (Impianti, Chimica Solare, Tecnologia dei componenti, Calore di processo, Risorse solari, Dissalazione solare). Organizza inoltre annualmente la Conferenza internazionale più prestigiosa nel campo della R&S nel settore Solare termodinamico /chimica solare ad alta temperatura. L'attività dell'Italia, che ha aderito a SolarPACES nel 2009, nel 2015 ha comportato:

- L'organizzazione in Italia del meeting primaverile del comitato esecutivo (ExCo), che si è svolto a Roma dal 24 al 26 marzo 2015, con la partecipazione dell'ing. Massimo Falchetta nella veste di rappresentante italiano e dei ricercatori A. Giaconia, M. Montecchi, A. De Luca per l'esposizione delle attività italiane nei Task II e III. Durante il meeting, nella giornata del 26 marzo 2015, sono state organizzate due visite tecniche ai laboratori ENEA e al sito produttivo ASE di Massa Martana.
- Il contributo dell'ing. Giaconia e del dr. Montecchi ai lavori del Task II (Chimica solare) e Task III (guidelines su misura della qualità ottica dei collettori).

La partecipazione a queste attività oltre a consolidare e acquisire nuovi contatti con ricercatori e operatori internazionali, ha consentito di acquisire una serie di informazioni di prima mano, che sono descritte nel Rapporto.

## 1 Introduzione

ENEA partecipa dal 2009 all'Implementing Agreement dell'IEA denominato SolarPACES (acronimo di Implementing Agreement for the establishment of a project on Solar Power and chemical Energy Systems) [www.solarpaces.org](http://www.solarpaces.org).

Per quanto riguarda i dettagli storici e organizzativi di SolarPACES si rimanda ai rapporti annuali precedenti, in particolare lo Rds/2013/167 redatto a settembre 2013 a cura di M. Falchetta e A. Giaconia.

Qui brevemente si ricorda che tutte le attività SolarPACES sono supervisionate da un Comitato Esecutivo (ExCo) composto da membri nominati da ogni paese aderente. L'ExCo si riunisce due volte l'anno per formulare obiettivi strategici, indirizzare il programma di lavoro, esaminare i risultati, e produrre un rapporto per l'IEA che viene diffuso fra gli aderenti.

Le attività di SolarPACES sono attualmente strutturate in 6 Task, ognuno dei quali è diretto da un Operating Agent (OA):

I - Impianti solari termodinamici per produzione elettrica – OA: NREL (USA)

II - Ricerca nel campo della Chimica Solare – OA: PSI (Svizzera)

III - Ricerca nel campo delle Tecnologie solari a concentrazione – OA: DLR (Germania)

IV – Calore solare per processi industriali, gestito in collaborazione con il Task 49 dell'IEA Solar Heating and Cooling Program, recentemente riattivato in collaborazione con IEA-SHC.

V - Gestione dei dati sulle Risorse Solari – OA: Suntrace (Germania)

VI - Applicazioni industriali alla dissalazione e trattamento dell'acqua - OA: Ciemat (Spagna)

Il budget di SolarPACES è ulteriormente cresciuto; attualmente si aggira sui 600.000 euro, di cui circa 150.000 dalle quote annuali, oltre a surplus dalle precedenti gestioni. Le spese vanno a coprire eventuali costi organizzativi delle Conferenze non coperti dalle iscrizioni dei delegati, le attività della segreteria tecnica (DLR) e alcuni progetti di tipo tecnico (in genere l'elaborazione di guidelines o roadmaps su temi specifici) che ricevono generalmente un contributo di 25 k€ per spese di missione e di tipo generale.

C'è comunque attualmente una discreta riserva, dell'ordine di 233 k€, che copre dai rischi nell'organizzazione della Conferenza annuale; in particolare la gestione della conferenza di Pechino (2014) è stata deficitaria di 50.000 € circa a causa di una partecipazione inferiore alle attese.

### 1.1 Partecipazione italiana

Il rappresentante italiano in seno all'ExCo è l'ing. Massimo Falchetta di ENEA; il membro supplente è l'ing. Vittorio Brignoli di RSE (ex ERSE, ex CESI ricerca).

La partecipazione della gran parte dei partecipanti italiani è in generale coperta dai rispettivi organismi.

Da un paio d'anni SolarPACES copre le spese di iscrizione alla Conferenza per ogni membro nazionale del Comitato Esecutivo, nella fattispecie per l'ing. Massimo Falchetta.

L'Italia partecipa correntemente ai Task I (impianti), II (Chimica solare), III (Componenti), VI (dissalazione solare) sia con ricercatori ENEA che (più saltuariamente) di altri organismi (Politecnico di Milano, ASE).

## 2 Attività 2014/2015

L'attività coperta dal finanziamento RdS nel periodo ottobre 2014/settembre 2015 ha comportato:

- l'organizzazione del Comitato esecutivo (Exco) di SolarPACES in Italia;
- il contributo degli ing. Falchetta, Giaconia, Gaggioli e del dr. Montecchi ai lavori del Task I (Impianti), Task II (Chimica solare) e Task III (guidelines su misure di riflettanza, misura della qualità ottica dei collettori e misura delle prestazioni dei prototipi di sistemi di accumulo).

Dal punto di vista contabile, occorre sottolineare che la Conferenza di Pechino (e meeting relativi) ricade nella rendicontazione dell'anno precedente, mentre la Conferenza (e meeting relativi) di Cape Town si svolgerà ad ottobre 2015 e non ricade quindi nel presente AdP.

### 2.1 Task I

Alle attività del Task I (impianti) partecipa l'ing. M. Falchetta. Nel periodo considerato non sono state svolte riunioni plenarie. E' continuata la collaborazione per la messa in campo di una nuova attività con lo scopo di approfondire gli aspetti legati alla valorizzazione del ruolo degli impianti solari termodinamici nell'ambito delle reti elettriche.

Da parte tedesca è stata fatta una proposta, sostanzialmente fatta propria dal rappresentante dall'OA del task I (NREL) per la realizzazione di uno studio, finanziato con fondi SolarPACES (circa 100 k€) dal titolo "The value of Concentrated Solar Power in electricity markets with variable energy sources". Per la realizzazione dello studio si è accreditata l'Università di Aachen, che ha proposto di realizzare con il proprio codice "ESYS" una simulazione di alcuni scenari di rete in cui sia presente una quota significativa di impianti solari a concentrazione. Fra i paesi candidati su cui applicare le simulazioni il coordinatore NREL ha per ora selezionato Spagna e Sud Africa; Italia e Australia hanno espresso interesse a far parte attiva dello studio, la questione sarà discussa a ottobre a Cape Town.

La Bozza di programma è allegata (All. 1).

### 2.2 Task II

L'ENEA partecipa da anni al gruppo di lavoro del Task II "Chimica Solare" di SolarPACES.

E' continuata la collaborazione in particolare sulle seguenti linee:

- reforming solare (di metano, biogas, bioetanolo), con un impianto pilota realizzato in Casaccia nell'ambito del progetto Europeo CoMETHy, coordinato da ENEA;
- processi di *bioraffineria solare*, ovvero *upgrading di substrati biologici* (tipo ligno-cellulosico, alghe, ecc.) in combustibili raffinati (ad es. biodiesel) mediante conversione in acqua supercritica;
- *cicli termochimici di scissione dell'acqua in idrogeno e ossigeno mediante energia solare, tra cui:*
  - ✓ elettrolisi dell'acqua ad alta temperatura;
  - ✓ ciclo termochimico ibrido dello zolfo, progetto Europeo SOL2HY2;
  - ✓ ciclo foto-termochimico zolfo-ammonio.

Alcune delle attività R&S sopra elencate hanno trovato interesse strategico di altri paesi. Questo è il caso, ad esempio, delle attività sul reforming solare, di particolare interesse strategico per l'Australia.

### 2.3 Task III

ENEA partecipa al Task III relativamente alle attività di qualificazione ottica degli specchi e dei collettori, che comportano la realizzazione e messa a punto di apparati di misura ottica relativamente complessi. Queste attività per ENEA sono portate avanti dal dr. Marco Montecchi.

Sostanzialmente è proseguita l'attività avviata a Gennaio 2013, ossia un test round-robin (ovvero con lo scambio dello stesso campione fra diversi laboratori) sulle misure di riflettanza al fine di implementare delle

linee guida sull'effettuazione delle misure di riflettanza. ENEA è coordinatore di tale attività, che prevede due workshop finanziati da SolarPACES. Il primo dei due si è tenuto a Luglio 2015, a Friburgo. Recentemente inoltre DLR e CIEMAT hanno allestito un accessorio (S2R) su uno spettrofotometro commerciale per eseguire la misura diretta della riflettanza quasi speculare (near-specular reflectance) con un angolo di accettazione ben definito, pari a 24.6 mrad. Il gruppo di lavoro si sta quindi dedicando al confronto dei dati sperimentali così acquisiti con le previsioni basate sul set-up che era stato realizzato da ENEA diversi anni fa (SMQ).

### 3 88° Meeting del Comitato esecutivo (exco) SolarPACES

Il meeting primaverile del Comitato esecutivo (exco) è stato organizzato in Italia, a Roma, dal 24 al 26 marzo 2015.

L'organizzazione del meeting, seppur non abbia praticamente comportato esborsi significativi per ENEA, in quanto le spese sono state coperte sostanzialmente da SolarPACES, ha comunque comportato un notevole impegno organizzativo i termini di ore di lavoro, in particolare dell'ing. M. Falchetta.

Due giornate del meeting sono state dedicate, come di consueto, alle presentazioni nazionali e agli aspetti generali e organizzativi. Fra le presentazioni nazionali sono state dedicate 2 ore per presentazioni italiane (tre ENEA, una ANEST); una giornata è inoltre stata dedicata alla visita dei laboratori ENEA Casaccia dedicati alle attività sul solare termodinamico e al sito produttivo ASE (Archimede Solar Energy) di Massa Martana.

#### 3.1 *Situazione generale*

E' stato preso atto che c'è una riduzione generale di progetti CSP; tale situazione dovrebbe invertirsi non prima del 2018. E' stato anche segnalato che alcuni paesi non pagano la quota annuale, in particolare Algeria, Egitto, Australia, Marocco. La parte tedesca, che controlla la cassa tramite la Segreteria (cassa peraltro in forte attivo ...) preme per soluzioni drastiche per gli inadempienti, ovvero espulsione salvo recupero credito, in stile "europeo". Su proposta italiana, appoggiata dalla Cina e altri paesi più ragionevoli, si è approvata un'altra soluzione, ovvero quella di mettere in stand-by i paesi inadempienti da qualche anno (che ovviamente non potranno partecipare alle attività nel periodo di stand-by) ri-ammettendoli qualora riprendano a pagare, ma senza chiedere il pagamento dei debiti (posizione tra l'altro tratta da una ben nota frase del "Padre Nostro", evidentemente non noto ai teutonici).

#### 3.2 *Presentazioni nazionali*

##### **Australia**

Pur in presenza di un nuovo governo conservatore, che ha sostanzialmente portato al blocco delle iniziative commerciali avviate (quali ad esempio la "Solar Flagship", cui partecipava Areva con il progetto Kogan Kc da 44 MW, attualmente cancellato) continua lo sviluppo di progetti di R&S:

- VastSolar, con piccole torri da 1MW e accumulo a Sali fusi
- Abengoa, con una torre da 20 MW e accumulo a Sali fusi da 7 hr di capacità equivalente
- Graphite Energy: ha sviluppato ricevitori a base di grafite, realizzando un impianto da 3 MW
- Solar Allam cycle, con ricevitore a sodio da 720 °C:
- Inoltre sono stati sviluppati piccoli eliostati a basso costo per zone isolate dalla rete elettrica.

##### **Cina**

Il rappresentante cinese ha comunicato che attualmente in Cina esistono 15 fabbriche in grado di produrre tubi ricevitori, 5 fabbriche di specchi solari, 2 società di ingegneria in grado di realizzare impianti CSP e 2 di turbine a vapore adatte all'impiego in impianti CSP. La Cina sta inoltre iniziando progetti nel campo delle torri solari in Joint venture con l'americana Brightsource.

## Cipro

Cipro ha partecipato come invitata, rappresentata dal Costas Papanicolas del Cyprus Institute (CYL), che fra l'altro già collabora con ENEA. La radiazione solare diretta a Cipro è molto elevata. C'è già un totale di 180 MW di fonti rinnovabili elettriche nell'isola, di cui la maggior parte eolico. Cipro ha anche una penetrazione molto alta di solare termico per le case. Le attività cipriote citate dal CYL sono:

- Un'attività nel WP2 di STAGE
- Due progetti NER-300 - Helios, che prevede ben 17.000 dischi parabolici per un totale di 50 MW, ed EOS, progetto che prevede ricevitori integrati a sistemi di accumulo a grafite posizionati su mini-torri (alte 20 m.), per un totale di 50 MW, su tecnologia dell'australiana Solastor.
- Il Laboratorio solare di Pentakomo: 50 eliostati CSIRO da 5 m<sup>2</sup>, una torre con accumulo a Sali fusi.
- Il Thermal Energy Storage Laboratory (TESLA) in collaborazione con ENEA.

Fra le realizzazioni citate da Papanicolas, anche un ricevitore con accumulo a sali integrato; lo studio della dissalazione dell'acqua tramite sistemi MED; l'impiego di sistemi fresnel sui tetti; la misura degli aerosol tramite droni da 4 m. di apertura alare

## Francia

La Francia si sta concentrando sulla tecnologia fresnel lineare, relativamente alla quale ha in fase di realizzazione due impianti dimostrativi:

- Llo, da 9 MW, realizzato da CNIM, da ultimare nel 2017
- Albanova, da 12 MW, realizzato da Solar Euromed, da ultimare entro il 2015

Sono inoltre stati finanziati dal governo e/o dalla Comunità Europea vari progetti di ricerca:

- LFR500 HT, sui coating selettivi per impianti fresnel lineari
- MICROSOL, con collettori piani sotto vuoto, sistema di accumulo termico e ciclo ORC.
- E-CARE, fresnel lineare con produzione diretta di vapore, sistema di accumulo termico e ciclo ORC.
- STARS, sistema di accumulo per fresnel lineari, poi cancellato in seguito al ritiro di AREVA
- un impianto pilota a tecnologia parabolica lineare da 150 kWth, con olio come fluido termovettore e sistema di accumulo, presso il centro del CNRS di Odeillo
- Il rinnovamento del sistema di controllo del campo solare e della strumentazione della fornace solare di Odeillo
- lo sviluppo di un ricevitore solare operante con un fluido composto da una sospensione densa di particelle in aria.
- lo sviluppo di sistemi ad alta temperatura per torri solari. Su questa linea di sviluppo hanno realizzato un ricevitore ad aria pressurizzata con assorbitori metallici e ceramici (750 – 1000 °C); un impianto pilota da 450 kW, attualmente in prova; hanno inoltre acquistato una turbina a gas da 1,8 MW.

## Grecia

Non ci sono ancora impianti Solari Termodinamici in Grecia, seppure i primi tentativi risalgono agli anni 90. Il target ufficiale al 2020 è 250 MW. Ci sono reazioni negative da parte delle autorità locali per problemi turistici. Ci sono tre licenze a Creta (38, 60 e 70 MW) tutti nella stessa area, una a Florina (75.3 MW). Tutti questi progetti sono attualmente in stand-by a causa della crisi. Gli operatori più accreditati nella R&S sono: APTL/CERTH, NCSR Demokritos & CRES, che operano sui solar fuels. E' disponibile un simulatore solare al coperto di alta potenza, mentre è in costruzione una fornace solare da 50 kWth. Parte di un programma di realizzazione di Infrastrutture di ricerca è invece il Programma Prometheus, che dovrebbe comprendere un impianto a torre da 1 MWth. Attualmente comunque l'attività soffre per una mancanza di fondi.

## Namibia

Degna di nota la presenza, per la prima volta, di una delegazione della Namibia, invitata al meeting. La Namibia confina con il Sud Africa, che ha un piano di sviluppo significativo, e sta a sua volta predisponendo un proprio piano di sviluppo, in quanto dispone di una quantità significativa di aree adatte (potenziale teorico: 250 GW); un primo studio tecnico-economico verrà completato entro il 2016, su 3 possibili siti (Keetmanshoop, Windhoek, Arandis). Attualmente la Namibia ha una rete elettrica limitata, in quanto è



scarsamente popolata, che vede la presenza di 4 centrali elettriche per un totale di 492 MW e una interconnessione con il Sud Africa per 600 MW. Per motivi geografici le reti di trasmissione e di distribuzione elettrica sono alquanto estese, 11.000 e 22.000 km rispettivamente. La Namibia attualmente importa dal 50% all'80% del proprio fabbisogno elettrico. Il picco di consumo si situa attorno alle 12 e alle 22, con il picco serale più elevato di quello diurno; c'è quindi un forte interesse in tecnologie solari che consentano l'accumulo di energia, prerogativa del Solare Termodinamico, che può fornire anche servizi di rete ancillari.

## USA

L'intervento di Joe Stekli del DOE ha essenzialmente relazionato sulle attività previste dal programma SunShot, finanziato dal DOE (all. 2).

Interessante il riferimento a un documento (all. 3) predisposto dal California ISO (organismo che supervisiona la rete elettrica e il mercato elettrico in California) che illustra come, all'aumento della penetrazione rinnovabile, in particolare solare senza accumulo, la curva di prelievo assume sempre più una forma simile a un "collo di papero" (chiamata quindi in gergo "Duck chart") esemplificata in fig. 1, tratta dall'all. 3. Questo andamento è in effetti simile a quanto sta avvenendo ad esempio in Italia nel periodo estivo. Questo tipo di andamento porta a forti ratei di crescita della richiesta di potenza nelle ore pomeridiane, con sempre maggiore stress per la funzionalità degli impianti convenzionali e crescente interesse per soluzioni di accumulo energetico, fra le quali si annovera appunto il solare termodinamico con accumulo.

Dal punto di vista del mercato, attualmente il mercato USA richiede a un impianto solare termodinamico di essere equivalente a un impianto per produzione di picco (gas peaker), non a una centrale "di base", ed quindi è disposto a concedere un valore maggiore all'energia prodotta. Questo concetto di impianto comporta potenze limitate (< 50 MW), multiplo solare attorno a uno, componenti standardizzati e tempi di costruzione ridotti (1 anno).

In assenza di incentivi specifici la remunerazione è comunque ancora troppo limitata, per cui dopo i grandi impianti recentemente entrati in linea o in fase di ultimazione non ne sono previsti di ulteriori a breve termine, e vi è un ritorno allo sforzo in R&S, appunto sulla base del programma SunShot che punta a raggiungere un costo livellato di 6 cent/kWh (invero non necessariamente realistico ...).

I fondi del SunShot sono assegnati a diversi soggetti (centri di ricerca, università, aziende) su base competitiva.

Nel periodo dal 2008 al 2015 il DOE ha messo in campo un finanziamento per più di 300 milioni di \$, di cui 96 nel triennio 2013-2015.

Nell'ultimo triennio le azioni di R&S sono state focalizzate in generale all'impiego di tecnologie "di frontiera":

- accumulo termochimico ad alta temperatura
- coating riflettenti ad alta resistenza all'abrasione
- miglioramento di prestazioni e riduzione del costo di collettori parabolici lineari
- ricevitori lineari non evacuati
- progetto FOCUS (programma arpa-e) per sistemi integrati FV-CSP basati sullo splitting della radiazione (finanziato con 30 M\$; vede attivi 10 gruppi di ricerca).
- sistemi a torre ad alta temperatura (720 °C) con accumulo termico (prog. Apollo e SunLamp)
- nuove forme di concentrazione (con guide d'onda e ottica adattativa)
- turbine a CO<sub>2</sub> supercritica

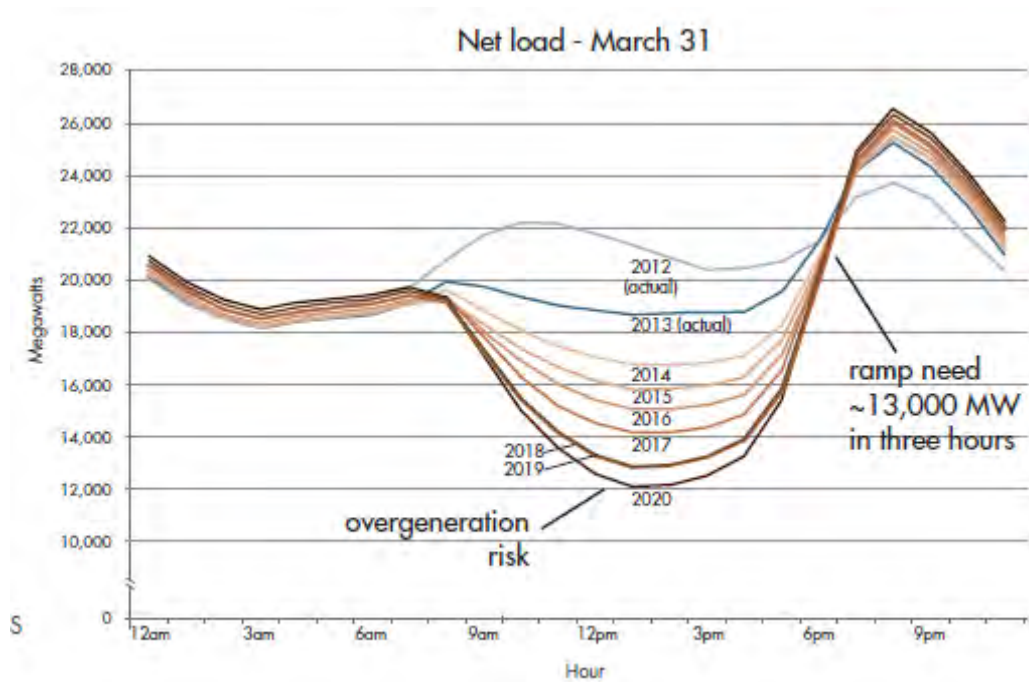


Figura 1. Andamento tipico della curva dei consumi elettrici nell'area di California ISO (da all. 3).

### 3.3 Presentazione italiana

Come paese ospitante l'Italia ha usufruito di un paio d'ore per effettuare la presentazione delle attività nazionali, che sono state utilizzate per:

- review introduttiva sulla situazione generale da parte dell'ing. Falchetta (ENEA), all. 4
- presentazione dell'ing. A. DeLuca (ENEA), Heat Collector Element at High temperature for parabolic troughs, all. 5
- presentazione del dr. M. Montecchi (ENEA) – ENEA optical facilities for qualification of CSP components, all. 6
- presentazione dell'ing. A. Giaconia (ENEA) – ENEA R&D: Solar Chemistry, all. 7
- una presentazione della situazione degli impianti commerciali, da parte dell'ing. A. Maccari, in rappresentanza di ANEST.

### 3.4 Relazioni degli Operating Agent (OA) sulle attività dei Task

#### Task I – Impianti

L'Operating Agent (NREL) non era presente al meeting.

#### Task II – chimica solare

Le attività del Task II sono ormai molto integrate all'interno del Workpackage sui Solar Fuels nell'ambito di STAGE-STE, in particolare i seguenti Task di STAGE-STE:

- Task 9.1 solar fuels from carbonaceous materials (steam reforming di gas naturale e steam gasification di carbone, coke, rifiuti carboniosi, biomassa ..)
- Task 9.2 solar fuels from thermochemical cycles (splitting di H<sub>2</sub>O /CO<sub>2</sub> per produrre H<sub>2</sub>, syngas, liquid fuels)
- Task 9.3 innovative materials for next generation solar chemical reactors
- Task 9.4 technology assessment of solar thermochemical fuels, finalizzata all'ingegnerizzazione dei cicli produttivi di combustibili solari tramite impianti CSP

E' in corso uno studio di "Roadmap to Solar Fuels" applicato ad Australia e Sud Africa (quasi ultimato) e alla Cina (2015-2016). Una notizia negativa è che il PSI svizzero (cui afferisce il responsabile del Task, Toni Meier) ha deciso di chiudere le attività sulla chimica solare entro il 2017.

### **Task III – componenti solari**

C'è un nuovo progetto finanziato con 30 k€ sulla misura della riflettività, guidato da ENEA. Inoltre vi sono altri 5 progetti in corso, che consistono essenzialmente nella elaborazione delle Linee guida (Guidelines) prenormative su: misura della forma degli specchi, con round robin test; misura delle perdite termiche nei ricevitori, con round-robin test; prove degli eliostati; prove su sistemi di accumulo termico; inoltre attività sull'invecchiamento dei materiali, in particolare gli specchi.

### **Task IV – impianti per calore di processo**

Questo Task è in realtà effettuato nell'ambito del IA Solar Heating and Cooling (SHC, Task 49); è stato istituito in SolarPACES un Task che agisce semplicemente da raccordo.

Le attività sono partite nel febbraio 2012 e dovrebbero estendersi per 4 anni. E' suddiviso in tre subtask:

- SubTask A: collettori per calore di processo
- SubTask B: integrazione del calore nell'ambito di processi industriali e "miglioramento energetico" dei processi stessi
- Subtask C: elaborazione di linee guida per la progettazione

### **Task V - risorse solari**

Anche questo Task è co-gestito con il Task 46 dell' IA SHC.

La partecipazione è molto ampia, ma a quanto pare non sono presenti gruppi di ricerca italiani (o non vengono citati).

E' organizzato in un gran numero di Sotto Task, che vanno dalle best practices di misura, al trattamento dei dati, alle misure da satellite, alla previsione puntuale a breve e lungo termine (fino a 7 giorni).

Alcuni testi prodotti e consigliati sono:

- NREL – Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications
- Perez et al: Spatial and temporal variability of solar energy - NOVA Publishers
- recentemente è stato proposto un progetto per la realizzazione di linee guida per la qualificazione (assessment) della risorsa solare e la creazione di dati meteo per la simulazione delle prestazioni di impianti CSP.

### **Task VI – applicazioni del CSP, in particolare dissalazione dell'acqua**

- L'Italia partecipa al Task VI con il progetto ENEA MATS. L'impianto di Pentakomo a Cipro sarà la prima applicazione di produzione elettrica e dissalazione congiunta.
- Il DLR ha sviluppato il sistema di simulazione INSEL per la modellizzazione tecnico economica anche di sistemi CSP+D (STE+D)
- Ci sono molte facilities per lo studio della dissalazione solare termico alla PSA di Almeria
- C'è anche un sub task dedicato allo sviluppo di piccoli sistemi (Ciemat-Fraunhofer-ISE) competitivi con la osmosi inversa.
- Al Task VI afferiscono anche i processi di detossificazione solare, in cui c'è anche molta R&D per esempio nei processi foto catalitici
- C'è comunque una forte concorrenza da parte della soluzione fotovoltaico/Osmosi Inversa. Il primo grosso impianto commerciale di dissalazione solare sarà in Arabia Saudita e userà quest'ultima tecnologia.
- E' in fase di test un processo di distillazione a singolo effetto in cui il vapore entra a 45 °C; di fatto ciò sostituisce la torre evaporativa; pure essendo a bassa efficienza, riduce anche il consumo d'acqua.

### 3.5 Visite tecniche

#### 3.5.1 Visita ai laboratori ENEA della Casaccia

Nella mattinata del 26 si è svolta la visita ai laboratori ENEA c.r. Casaccia; sono stati visitati gli impianti MOSE (fig.2), con le sezioni di prova che afferiscono ai progetti Comethy e Hysol (fig. 3 e 4), finanziati dall'Unione Europea, e l'impianto prova Collettori Solari PCS.

**L'impianto MOSE** (Molten Salt Experiences) consente di eseguire prove di resistenza alla corrosione dinamica sui materiali strutturali esposti all'azione di sali fusi ad alta temperatura, con variazioni cicliche e su lunga durata, a supporto delle attività di sviluppo e di progettazione di impianti solari termodinamici a sali fusi. Mediante questo impianto si possono selezionare e qualificare materiali metallici idonei, nonché sperimentare elementi di giunzione, saldature, accoppiamenti tra materiali diversi, elementi di tenuta e strumentazione di linea. L'impianto MOSE consente di effettuare attività di ricerca e di verifica sperimentale di processi endotermici fino a 550 °C, quali trattamenti metallurgici, recupero di materiali e processi di depurazione. L'impianto può inoltre costituire un importante supporto per ricerche su tecniche avanzate di trasporto del calore, e per il recupero e l'accumulo di energia termica ad alta temperatura in campo industriale. Mediante questo impianto, ad esempio, si possono agevolmente verificare coefficienti di scambio termico e sperimentare il comportamento meccanico di dispositivi sottoposti all'azione di sali fusi con variazioni cicliche e prolungate di temperatura. L'impianto viene utilizzato anche per programmi di ricerca sui miglioramenti della tecnologia solare termodinamica, come ad esempio prove su materiali metallici meno costosi e studi sul comportamento termo-fluidodinamico di diverse miscele di Sali fusi.



Figura 2. - impianto MOSE (ENEA).

Presso l'impianto MOSE sono state installate due "sezioni di prova" oggetti di studio di due progetti europei (COMETHY e HYSOL).

#### **Sezione di prova "COMETHY"**

L'impianto di produzione idrogeno è basato su un processo di Steam Reforming che prevede una reazione catalitica tra gas naturale e vapore. L'impiego di membrane in grado di rimuovere selettivamente l'idrogeno dall'ambiente di reazione, consente di realizzare processi ad alta conversione del metano alimentato, anche quando si opera a temperature sensibilmente inferiori a quelle degli impianti tradizionali.

La reazione di steam reforming è condotta ad una temperatura di 550°C e ad una pressione di 9 bar.

Le fasi principali del processo sono le seguenti:

- steam reforming della carica con produzione di una miscela di idrogeno, monossido di carbonio, diossido di carbonio e metano non convertito;
- purificazione dell'idrogeno grezzo su membrana;
- smaltimento in sicurezza dell'idrogeno prodotto e del gas generato.

L'impianto di reforming è alimentato con una portata di metano pari a 1.2 Kg/h. Il vapore alimentato alla sezione di reazione è pari a 3.5 kg/h mentre quello inviato alla sezione di purificazione è pari a 2.1 kg/h.

I Sali fusi alimentati alla sezione di reazione hanno una portata di 0.7 kg/s.

La produzione attesa di idrogeno è 2 Nm<sup>3</sup>/h

Oltre all'idrogeno, l'impianto genera 4.6 Nm<sup>3</sup>/h di gas (miscela di CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> non convertito) che viene smaltito in torcia.



Figura 3. - reattore a membrana COMETHY durante la costruzione (ENEA).

### Sezione di prova "HYSOL"

Il progetto europeo HYSOL ha come obiettivo l'accumulo in un sistema a sali fusi di energia termica derivata dallo scarico di una turbina a gas. La sezione di prova realizzata presso il MOSE ha lo scopo d'investigare lo scambio termico gas/sali e la possibile estensione del campo di applicazione delle miscele di sali. Questo è ad oggi fissato nell'intervallo 290°C÷550°C per la miscela di sali fusi tipicamente usata (60% in peso di NaNO<sub>3</sub> e 40% di KNO<sub>3</sub>). Nel presente impianto si valuta tra l'altro la possibilità di estendere tale campo di applicazione, per la miscela indicata, fino a 600°C.

I dati di progetto del back-up heater sono stati fissati in:

- Portata Sali:  $Q_s = 0.7 \text{ kg/s}$
- Pressione massima circuito sali:  $P_{s\_max} = 5 \text{ bar}$
- Temperatura fumi:  $T_{ex} = 700\div 800^\circ\text{C}$
- Variazione della temperatura sali nello scambiatore:  $\Delta T_s = 40^\circ\text{C}\div 90^\circ\text{C}$
- Massima sovrappressione ammissibile in camera di combustione: 9000 Pa

Eventuali estensioni del campo di temperatura verso  $T_{ex}=850^\circ\text{C}$  andranno verificate da un punto di vista tecnologico con il costruttore dell'impianto.





Figura 4. - sezione di prova per progetto HYSOL (ENEA).

### 3.5.2 Visita allo stabilimento Archimede Solar Energy (ASE) di Massa Martana

Nel pomeriggio del 26 si è svolta la visita agli stabilimenti di Archimede Solar Energy (ASE) di Massa Martana. Durante la visita è stato possibile assistere al funzionamento del circuito sperimentale a sali fusi, con 6 collettori parabolici da 100 m. ciascuno, e visitare la fabbrica di tubi ricevitori, altamente automatizzata e il cui funzionamento è stato illustrato con notevole dettaglio dalla d.ssa Federica Angelantoni, Amministratore Delegato di ASE.



Figura 5. - I delegati dell'exco in visita al circuito sperimentale ASE.

## 4 Valutazioni conclusive

SolarPACES è già posizionato da tempo sulla nuova linea politica IEA – recentemente introdotta dal nuovo Direttore esecutivo Fatih Birol - che è quella di favorire il più possibile la partecipazione agli Implementing Agreement da parte di paesi non appartenenti a IEA e OCSE, in quanto lo sviluppo energetico mondiale non è più appannaggio dei paesi fondatori di questi organismi, anzi si sposta verso i cosiddetti paesi emergenti. SolarPACES opera nel settore della R&S più che nel campo della promozione dell'uso commerciale; nondimeno, l'applicazione commerciale è comunque il traguardo della ricerca tecnologica in campo energetico, per cui l'aspetto applicativo finale è ben presente.

Nel settore solare termodinamico la leadership tecnologica rimane ancora appannaggio di paesi quali Germania, USA e Spagna; il Giappone, dopo un iniziale interesse, non ha più rinnovato la partecipazione e in effetti non sembra perseguire un ruolo tecnologico in merito. Sul piano delle installazioni, l'attività si sta sviluppando in paesi quali Cina, Sud Africa e paesi che afferiscono alla regione MENA (Medio Oriente – Nord Africa).

La Cina ha ovviamente un forte potenziale produttivo, anche se non ha ancora espresso una tecnologia particolarmente all'avanguardia nel settore, pur avendone le potenzialità.

Degno di nota il fatto che l'attività di R&S italiana, in particolare ENEA, ha finalmente avuto uno sbocco proprio in Cina, in cui la ASE si è recentemente aggiudicata la fornitura di 32.000 tubi ricevitori per un impianto a collettori parabolici a Sali fusi da 55 MW.

La Spagna non riprenderà uno sviluppo commerciale prevedibilmente prima del 2017, mentre la politica governativa australiana non favorisce le installazioni, pure se il territorio è dotato di forti risorse solari.

In generale la concorrenza del solare fotovoltaico si fa sentire in tutti i paesi, soprattutto in relazione alla pura e semplice produzione di elettricità.

Un interesse crescente sta emergendo nel settore della chimica solare, in cui si inizia a uscire dalla fase di R&S di base e a predisporre roadmaps tecnologiche.

Le linee di R&S che attualmente emergono dal panorama internazionale sono molteplici; in quanto tali si possono elencare solo obiettivi finali, che sono:

- Aumento del rendimento elettrico tramite incremento delle temperature del vapore prodotto
- Riduzione dei costi dei componenti e dell'impianto tramite nuove tipologie costruttive e impiego di fluidi termovettori a basso costo (es. acqua o aria).
- Ibridazione con gas o biomasse
- Aumento del rendimento globale associato a una riduzione di taglia dell'impianto (100 kW-1 MW) - anche se a scapito del rendimento elettrico - tramite la produzione combinata di elettricità, calore, raffrescamento e/o dissalazione dell'acqua.
- Sviluppo di sistemi a basso costo per produzione di calore di processo a media temperatura. Vi è un recente esempio commerciale di successo: un impianto da 1 GW di potenza termica in fase di costruzione in Oman per l'incremento della produzione petrolifera, tramite iniezione di vapore Enhanced Oil Recovery – EOR.
- Per finire, fattore chiave per il successo della tecnologia ST è il pieno sfruttamento di una sua peculiarità distintiva, cioè quella di poter conseguire un'elevata controllabilità della produzione tramite l'adozione di sistemi di accumulo termico. L'impiego dell'accumulo termico è infatti più economico - a parità di energia elettrica accumulata - rispetto ai sistemi elettrochimici (batterie di accumulo), oltre a non presentare in generale problemi di degradazione delle prestazioni, consentendo una vita utile di 25-30 anni o più senza necessità di sostituzione periodica. Su questa linea sono perseguite a livello internazionale varie attività di R&S su tecnologie di accumulo termico per i vari intervalli di temperatura richiesti. Sono in atto anche varie iniziative di studio e approfondimento per la corretta quantificazione del valore economico dell'energia elettrica prodotta, sulla base delle caratteristiche della rete elettrica e dei sistemi di generazione presenti nella rete cui l'impianto afferisce. In altri termini, la valorizzazione della dispacciabilità, della fornitura di servizi ancillari e di riserva per la stabilità della rete.

## 5 ALLEGATI

Allegato 1: The value of concentrated solar power in electricity markets with variable energy sources – Proposal for Task I activity supported by SolarPACES file: *SolarPACES Grid Integration Study CSP\_draft\_final – 15-09-15.docx*

Allegato 2: Joe Stekli – SunShot – DOE – presentazione a 88 SolarPACES exco meeting - file: *presentaz\_usa\_sunshot\_2015.pttx*

Allegato 3: Flexible Resources Help Renewables – Fast Facts – California ISO. file: *FlexibleResourcesHelpRenewables\_FastFacts.pdf*

Allegato 4: M. Falchetta – presentazione introduttiva per 88 exco SolarPACES - file: *88 EXCO COUNTRY REPORTS\_italy\_2015.ppt*

Allegato 5: A. De Luca - presentazione attività ENEA sul tubo ricevitore, file : *88 EXCO COUNTRY REPORTS\_italy\_2015 De Luca.pdf*

Allegato 6: M. Montecchi – presentazione strumenti di misura ottica sviluppati da ENEA - file: *88 EXCO COUNTRY REPORTS\_italy\_2015\_Montecchi.pdf*

Allegato 7: A. Giaconia – presentazione attività ENEA su chimica solare  
- file: *2015-03-24\_SOLARpaces\_88ExCo\_COUNTRY\_REPORTS\_ENEA\_Solar\_Chemistry\_2015.ppt*



## 5.1 Allegato 1

The value of CSP



Proposal for a Task I activity supported by SolarPACES

# The value of concentrated solar power in electricity markets with variable energy sources

Case studies based on a simplified analysis methodology

Phase 1: (January 2016 – December 2016)

Submitted on xx.xx.2015

## 1. Summary

SolarPACES Task 1 is proposing a new activity to evaluate the role and value of CSP electricity in a series of country specific system integration studies. It has brought together a group of experts from different countries and has identified a simplified methodology that can be considered as potential first step, to be performed by the SolarPACES working group itself and within the SolarPACES budget in order to provide an initial assessment on how to reliably support the electric load in a country or region and to identify what role CSP can play in this context. While the model and corresponding results are based on some simplifying assumptions, they can serve as a basis for discussion with regional stakeholders and to communicate the deficiency of rating technologies solely on their Levelized Cost of Electricity (LCOE). Our hope is that such analysis may help to trigger more detailed grid integration studies in the identified target markets.

The tool proposed for this effort is designed to calculate, for a given load demand and a predefined capacity of variable renewable energy systems like wind or PV, the technology mix with the lowest generation cost that is able to reliably cover the load curve. Concentrated solar power (CSP) is a valuable source of flexibility as it can be easily combined with thermal storage and/or a co-firing unit guaranteeing electricity production in the presence of fluctuating levels of solar irradiation. With the developed method, a first estimate of the value of CSP electricity generation in a system context can be given in comparison to alternative technologies. The method has been developed by a team of RWTH Aachen University and applied in a national energy study on the German energy system in 2050. The team of RWTH Aachen University will coordinate the modeling activities of the working group and will manage the collection of the input data. Assumptions and results are reviewed in the context of two review meetings by the working group. A SolarPACES summary report will be delivered that describes the approach, the model results, and country specific recommendations resulting from the study. The results will also be disseminated in country specific meetings addressing the relevant stakeholders.

## 2. Objective

The objective of the project is to initiate a SolarPACES working group that is able to provide information on the role and value of CSP for multiple electricity markets with favorable conditions for renewable generation, including solar. In the first phase - described in this document - the working group shall be established and two specific grid integration studies (for South Africa and Spain) shall be performed



based on a simplified methodology provided by a team of RWTH Aachen University. The results of these studies shall be published as SolarPACES reports and shall serve as a basis to disseminate the results in stakeholder meetings in the respective countries. This activity is considered as a first phase and the involvement of more experts and the analysis of additional countries shall be defined and recommended as a follow up.

### 3. Background, Motivation, Relevance

The integration of renewable energy systems into an electric grid often leads to questions regarding the most optimum mix of technologies. Levelized Cost of Electricity (LCOE) is widely used as a metric in order to identify the lowest cost option. While this concept can be useful in some contexts, it does not sufficiently consider the effect that some renewable energy technologies only provide the energy in an intermittent and unscheduled manner. In particular, the comparison of CSP (with storage) and PV technologies suffer from this limitation as the additional benefit of CSP in providing dispatchable power is not reflected in the LCOE metric. As a result, the lower LCOE for PV technology is often used as argument for excluding CSP from a country's energy portfolio. Therefore it is very important to offer alternative metrics that describe the value of CSP in an electricity system and to highlight, as appropriate, the complementarity of CSP and PV technologies. Unfortunately, this evaluation is very complex as it depends on many regionally and country specific boundary conditions such that there are today only very few examples where the value of CSP has been quantified. SolarPACES, as the international network for concentrating solar technologies, should take the lead in order to perform preliminary studies based on a simplified method to provide quantitative data on the value of dispatchable CSP electricity. This proposal is based on a methodology that only requires:

- Country specific installations of wind, PV and hydropower capacities and plans for future expansion
- Solar radiation (global and direct) and wind data
- Estimates of hourly time series of the national electric load (now and for future scenarios)
- Information on national renewable energy or CO<sub>2</sub>-reduction targets
- Country specific information on the cost of fossil fuel and other country specific boundary conditions
- A techno-economic data base for the technologies that are under consideration in the study. This database was already developed for Germany and can be used as a starting point for the evaluation of further countries.

The SolarPACES members of our working group are capable of collecting this information for the two countries (South Africa, Spain) under consideration.

### 4. Workplan

Work within this proposed project will be performed in three packages. The basis of the effort involves data collection that is used in the simplified country model. All simulations will be evaluated subsequently presented to the relevant in-country stakeholders. The workload calculation for this project is based on the assumption that an analysis will be performed for two countries. Additional countries could be added if requested, but any addition would require an appropriate increase in the project budget.

#### 4.1. WP1: Data Collection

For each analysis, a data set of country and technology specific values is necessary. Within this work package the RWTH Aachen University team will, together with with support of the SolarPACES working group, collect the country specific data for the model listed in section 3. A equalization of the given input data is included in this step. After a first phase of data aggregation, the validity of the data will be evaluated. This will be done in comparison to existing timeseries data and will investigate the plausibility of the current and future values.

A first data set for the relevant technologies (e.g. fossil-fired power plants, PV generators, CSP etc.) already exists. These values will be discussed to consider possible in-country specifics. Within the timeframe of this WP the first meeting with all partner will take place to finalise the dataset for the calculation. The quality of the data basis will be essential for the follow-on study.

Budget Assumption: 1.75 PM for a research assistant of RWTH Aachen University have been planned for this WP and travel cost for one meeting in each country with the teams and the coordinator.

#### 4.2. WP2: Definition of Scenarios and Modelling of CSP

Based on the outcome of WP1, the previously developed tool "ESYS" will be deployed to analyse the potential of CSP on the two defined electricity markets in comparison to other technologies. Relevant scenarios will be developed to cover the future technological development and the change in electricity demand. The scenarios will cover a spread of possible evolutions. The plausibility of the results will be checked before the final analysis.

The results will answer the following questions:

- How are the defined technologies used to form a cost-efficient mix of electricity generation for each scenario?
- How relevant is each technology, which role does it play in different scenarios?
- What role, if any, can CSP play in the future power system and what is the optimal dimensioning of CSP and other technologies with storage?
- Are there scenarios with outstanding overall economic results?
- What effects do variations of key parameters have (Dependent on scenario definition:)?
- What is the limit on specific full costs relative to full load hours in order to be competitive in each scenario?

Budget Assumption: 2.5 PM for a research assistant of RWTH Aachen University have been planned for this WP and coordination via telephone conferences and a meeting to discuss the model results in Aachen (Travel for the other partners).

#### 4.3. WP3: Analysis and Presentation

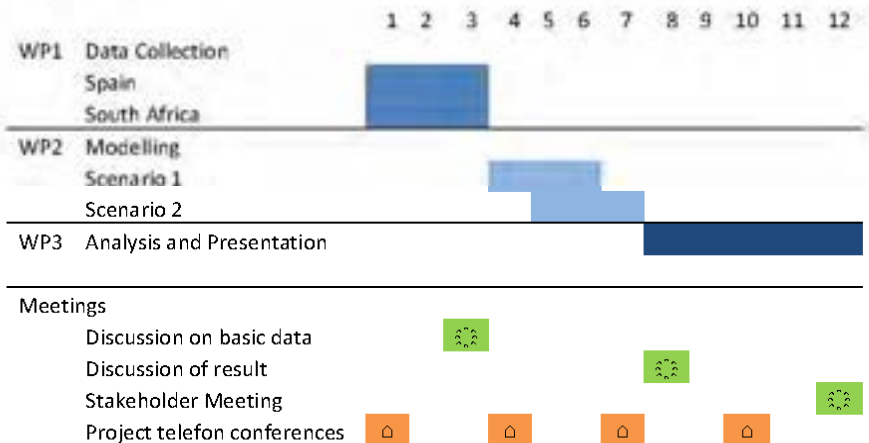
Within this final work package, the results of WP2 will be analysed and evaluated. At the conclusion of this phase, a preliminary assessment of the role of CSP in each country will be illustrated and delivered in a final report. The working group will organize a workshop for relevant stakeholders in the two target countries.

Budget Assumption: 2 PM for a research assistant of RWTH Aachen University have been planned for this WP as well as travel cost for one meeting in each country with the teams and the coordinator.



### 5. Time Schedule and Deliverables

The project is planned for twelve months. A preliminary time schedule has been established (workshop dates to be finalized):



Date	Activity	Deliverable	Responsible
M 3	Data Collection	Input Data Report	Aachen
M 9	Modelling	Modelling Report	Aachen
M12	Final Presentation	Summary Report	Aachen

## 6. Budget Overview

According to the conditions defined by the SolarPACES ExCo, a total amount of 100.000 EUR is requested for the proposed activity, payable directly to the participating institutions for the reimbursement of their eligible expenses.

In this context the Aachen University has a specific role. The team can provide expertise and a specific software tool to the SolarPACES group and takes over the coordination of the modeling activities. As the team is not funded in a national CSP specific research program it needs to charge their effort to SolarPACES in order to provide this support. The working group was not able to identify alternative options that could provide this support at lower cost and therefore recommend a higher budget for this partner.

The initial budget foresees the following cost distribution among the participating institutions:

Responsible (Institution)	Activity	Expenses	Initial Budget * (€)
RWTH Aachen	WP1: Data collection	1.75PM + travel	22,500.00
	WP2: Scenario	2.5PM	25,000.00
	WP3: Analysis /Presentation	2PM + travel	25,000.00
DLR	Data collection /coordination	Travel	5.000
NREL	Data collection /coordination	Travel	7.500
Stellenbosch University	Data collection	Travel	5.000
ACS Cobra	Data collection	Travel	5.000
<b>Total</b>			<b>xxxx</b>

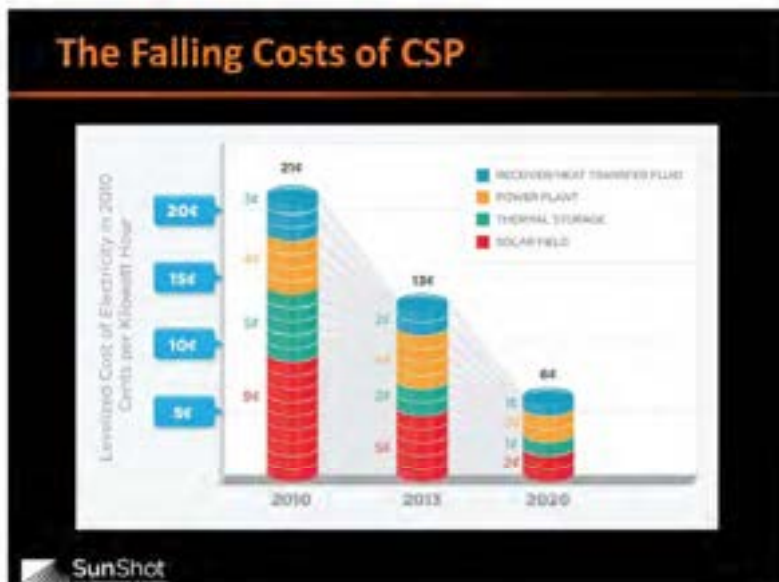
Based on the work that will be done during WP1 to 3 the additional budget for the analysis of an additional country is 30,000.00 € (netto).

## 7. Coordinator Contact

Task I Operating Agent  
 Mark Mehos, NREL  
 Email: [mark.mehos@nrel.gov](mailto:mark.mehos@nrel.gov)

Mr. Zhuang Cai  
 Research Associate at RWTH Aachen University  
 Email: [zca@isea.rwth-aachen.de](mailto:zca@isea.rwth-aachen.de)  
 Telefon: +49 241 80-49342

5.2 Allegato 2









### CSP: ELEMENTS

- FOA released in 2013, awards completed 2014
- Motivation: Chemical energy densities >> sensible or latent

*Image courtesy Sandia National Lab*

Total Funding: \$12.9M over 8 projects		
Awardee	\$M	Topic
Colorado School of Mines	\$1.4	Perovskite Redox
Southern Research Institute	\$1.0	Carbonate Redox
University of Florida	\$1.0	Carbonate Redox
Pacific Northwest National Lab	\$3.6	MH
Sandia National Lab	\$4.4	Perovskite Redox
UCLA	\$1.5	NH3 cycle

The diagram illustrates a CSP energy storage system. A yellow sun icon is connected by a yellow line to a solar collector. The collector is linked to a receiver, which is connected to a large storage tank. The tank contains several layers and components, including a red section labeled "Perovskite Redox" and a blue section labeled "NH3 cycle". Arrows indicate the flow of energy and materials between these components.

SunShot  
OFFICE OF DEPARTMENT OF ENERGY



## Incubator 9: CSP Awards

### SUNDOG SOLAR TECHNOLOGY

Development of an Abrasion-Resistant Anti-Soiling Coating for Fresnel Surface Reflectors

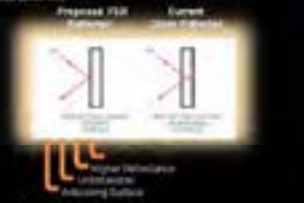
**Project Goals**

This high-performance coating will enable a reflective technology that has long been desired by the CSP industry - **front surface reflectors**.

- Front surface reflectors maximize reflection
- Substrated with a superhard thin substrate, reflector stays on target
- High modulus increases cleaning force without chipping
- Resistant to the wear of cleaning frequency and cleaning tools
- Tolerant for solvents, moisture, and other factors
- High manufacturability and low volume cost as well as processing

**Project Impact**

- CSP industry EIT/ETC
- Technology across field



**SunShot**  
The Transformation of Energy

### NORWICH TECHNOLOGIES INC.

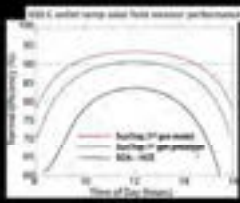
2<sup>nd</sup> Generation Novel High Temperature Commercial Receiver & Low-Cost High-Performance Mirror-Collector for Parabolic Solar Trough

**Project Goals**

- First generation design built and use a 2<sup>nd</sup> generation prototype receiver based on results from their 1<sup>st</sup> generation prototype coating, additional stress performance improvements
- Develop a low cost, high-performance parabolic trough solar collector in cooperation with other project partners (University State Energy and Research Dev through the energy research opportunities created by the receiver)

**Project Impact**

- Two-year-old, high-temperature receiver, combined with the highly efficient receiver, will ensure the CSP industry to realize higher output than is today through greater efficiency to the industry's future high-temperature solar fields



## SolarMat 2: CSP Award

**NORWICH TECHNOLOGIES INC.**  
Design and field testing of low-cost receiver for parabolic trough solar power

**Project Goals**

- Produce their low temp receiver from bench-top to field demonstration
- Validate reliability and production costs for product

**Approach**

- 1) Develop models and design receiver. Build prototype build cost analysis.
- 2) Build field prototype. Develop high-temperature field test specs, reliability testing. Finalize product design.
- 3) Integrate product into high-temperature loop. Finalize manufacturing process and run.

**Project Impact**

- Decrease receiver thermal loss by 47% compared to existing technology at CSPC operating temperatures
- Decrease receiver unit cost by 13% relative to existing technology



**SunShot**  
The Transformation of Energy

### FOCUS (ARPA-e)

- Maximize exergy collection through use of PV + CSP together
- \$30M over 3 years
- 13 total awards made
  - Beam splitting
  - Topping
  - High Temperature PV
  - Thermal + electrical storage

**SunShot**  
The Department of Energy

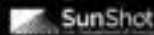
## Current and Planned FOAs

**SunShot**  
The Department of Energy

## CSP: APOLLO and SuNLaMP



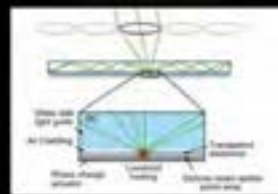
- CSP: APOLLO funding - \$25M over 3 years
- SuNLaMP funding - \$29M over 3 years (US DOE nat'l labs only)



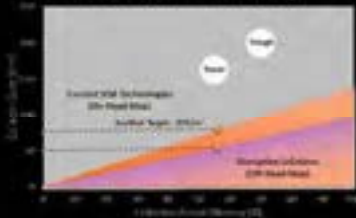
## COLLECTS

While CSP collector costs have dropped significantly over the last decade, they are still the largest contributor to the LCOE.

- Cost reduction due to higher levels of automation and logistics, lighter weight and reduced materials, and pricing reduction due to larger volumes and manufacturing, all contributed to lower overall costs in 2014.
- Achieving and surpassing the SunShot 2019 target, now requires more than just continuous incremental improvements in collector cost and performance (i.e., Dual-Flow collectors).
- **Disruptive, Off-Field-Flow collectors** (i.e., new materials, collector schemes, etc.) which could lead to a new cost curve and techno-economic benefits, should be aggressively pursued.
  - Examples include:
    - Waveguide collectors with undervolled collectors
    - Adaptive optics



Off-Field-Flow Methods all require some form of tracking. Are there better solutions with minimal or no tracking?



## Supercritical CO<sub>2</sub>: Transformational Energy Systems

**5-stage Dual Turbine**  
Lo Hi Lo

**20 meter Steam Turbine (300 MWe)**  
(Rankine Cycle)

**3-stage Single Turbine**  
Hi Lo

**1 meter sCO<sub>2</sub> (300 MWe)**  
(Brayton Cycle)

**Comparison**

- Rankine efficiency is 33%
- Supercritical CO<sub>2</sub> (sCO<sub>2</sub>) potential to surpass 50% efficiency
- Greatly reduced cost for sCO<sub>2</sub> compared to the cost of conventional steam Rankine cycle
- sCO<sub>2</sub> compact turbo machinery is easily scalable

### Program Pillars for Supercritical CO<sub>2</sub> Technology

Technology Development Activities \$32.1M*	Demonstration Projects \$44.3M*
<p><b>Technology Assessments</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Assessment of materials</li> <li>Integrated Technology Eval</li> </ul> <p><b>Materials Research</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Computational Alloy Characterization</li> <li>Stress Corrosion</li> </ul> <p><b>Comp. Test &amp; Develop</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>sCO<sub>2</sub> recuperator</li> <li>Compact Heat Exchanger</li> <li>Highly loaded air foil</li> </ul> <p><b>Proj Dev &amp; Engineering</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cost Estimation</li> <li>Project timeline and strategy</li> </ul>	<p><b>Supercritical Transformational Electric Power Generation (STEP)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>FY15 (\$15M)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>ME Conceptual Design</li> <li>FE Component Dev</li> </ul> </li> <li>FY16 (\$29.3M)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Integrated 10-M sCO<sub>2</sub> demonstration</li> <li>Hybrid design capable of supporting medium and high temperatures</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Future 50MW Demonstration</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fully integrated demonstration</li> <li>700°C operation</li> <li>Appropriate scale to de-risk central station, high temperature commercial scale deployment</li> <li>Funding request anticipated FY17</li> </ul>


\* includes FY15 overhead and FY16 request items

**SunShot**  
accelerating the deployment of energy

# Commercial Deployment




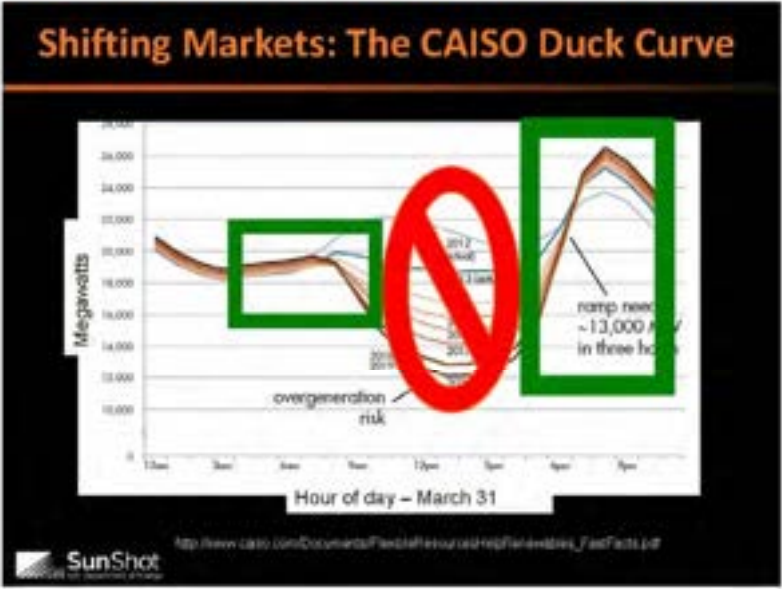
## The Resurgence of Big Solar!



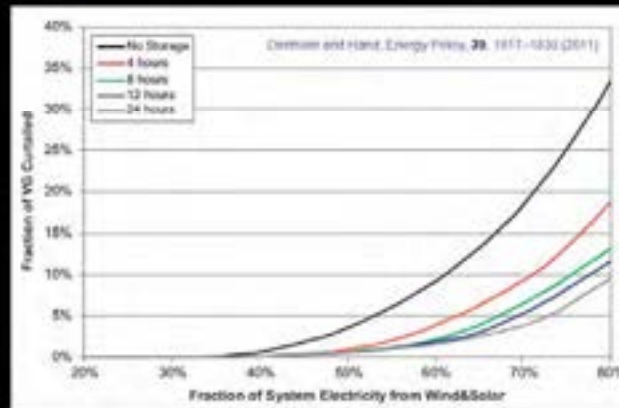
Project	Solana	Ivanpah	Genesis	Crescent Dunes	Mojave
Utility	APS	SCE + PG&E	PG&E	NVE	PG&E
State	Arizona	California	California	Nevada	California
Size	280 MW	392 MW	250 MW	110 MW	280 MW
Technology	Trough/Storage	Tower	Trough	Tower/Storage	Trough
CO2	October 2013	February 2014	March 2014	Summer 2015	January 2015
DOE Loan	\$1.45 B	\$1.63 B	\$0.85 B	\$.74 B	\$1.2 B
Company	Abengoa	BrightSource	NextEra	SolarReserve	Abengoa

Total New CSP in US: 1,312 MW





## Shifting Markets: CSP with Variable Renewables



SunShot  
2007-2012 | Department of Energy

## What does the market want from CSP?

- Make a CSP plant look like a gas peaker
  - Peakers are smaller, down to 50MW in size
    - Even smaller sizes viable with increased DG
    - Allows location closer to load, which will be valued in the future
  - Solar multiple ~ 1 (*perhaps < 1*)
- Solutions
  - Much of what is currently undertaken by the CSP program may work
  - However, this may open up an alternative solution space

SunShot  
2007-2012 | Department of Energy



## What does the market want from CSP?

- Think about what the "ideal" CSP plant look like in the future?
  - Low-cost, mass-manufactured solar field
  - Low-cost, efficient power block
  - Low-cost thermal energy storage
  - Meets current market demands
    - Smaller (10-50MW), modular systems
      - sCO<sub>2</sub> is critical
  - Capital efficient
    - Construction times < 1 year
    - Smaller amounts of capital needed per plant => better financing rates
      - Allows CSP to access alternative financial mechanisms such as yieldco's and green bond offerings
  - Co-optimize with PV
- Additionally, must find alternative markets for CSP
  - Hybridization, Desal, EOR, Process Heat



# SunShot

U.S. Department of Energy

## Joe Stekli

Director  
Concentrating Solar Power  
[joseph.stekli@ee.doe.gov](mailto:joseph.stekli@ee.doe.gov)

[www.solar.energy.gov/sunshot/csp.html](http://www.solar.energy.gov/sunshot/csp.html)



## 5.3 Allegato 3



### FAST FACTS



#### What the duck curve tells us about managing a green grid

*The electric grid and the requirements to manage it are changing. Renewable resources increasingly satisfy the state's electricity demand. Existing and emerging technology enables consumer control of electricity consumption. These factors lead to different operating conditions that require flexible resource capabilities to ensure green grid reliability. The ISO created future scenarios of net load curves to illustrate these changing conditions. Net load is the difference between forecasted load and expected electricity production from variable generation resources. In certain times of the year, these curves produce a "belly" appearance in the mid-afternoon that quickly ramps up to produce an "arch" similar to the neck of a duck—hence the industry moniker of "The Duck Chart".*

#### Energy and environmental goals drive change

In California, energy and environmental policy initiatives are driving electric grid changes. Key initiatives include the following:

- 33 percent of retail electricity from renewable power by 2020;
- greenhouse gas emissions reduction goal to 1990 levels by 2020;
- regulations in the next 4-9 years requiring power plants that use coastal water for cooling to either repower, retrofit or retire;
- policies to increase distributed generation; and
- an executive order for 1.5 million zero emission vehicles by 2025.

#### New operating conditions emerge

The ISO performed detailed analysis for every day of the year from 2012 to 2020 to understand changing grid conditions. The analysis shows how real-time electricity net demand changes as policy initiatives are realized. In particular, several conditions emerge that will require specific resource operational capabilities. The conditions include the following:

- **short, steep ramps** – when the ISO must bring on or shut down generation resources to meet an increasing or decreasing electricity demand quickly, over a short period of time;
- **overgeneration risk** – when more electricity is supplied than is needed to satisfy real-time electricity requirements; and
- **decreased frequency response** – when less resources are operating and available to automatically adjust electricity production to maintain grid reliability.

**Green grid reliability requires flexible resource capabilities**

To reliably operate in these conditions, the ISO requires flexible resources defined by their operating capabilities. These characteristics include the ability to perform the following functions:

- sustain upward or downward ramp;
- respond for a defined period of time;
- change ramp directions quickly;
- store energy or modify use;
- react quickly and meet expected operating levels;
- start with short notice from a zero or low-electricity operating level;
- start and stop multiple times per day; and
- accurately forecast operating capability.

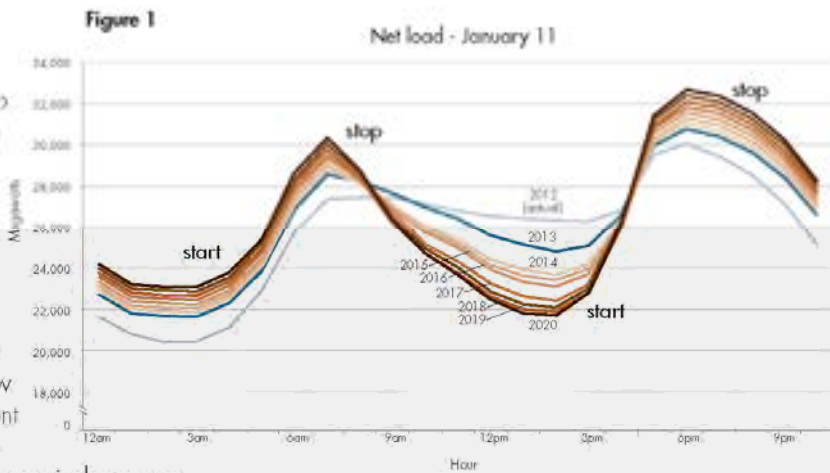
**Reliability requires balancing supply and demand**

The net load curves represent the variable portion that ISO must meet in real time. To maintain reliability the ISO must continuously match the demand for electricity with supply on a second-by-second basis. Historically, the ISO directed conventional, controllable power plant units to move up or down with the instantaneous or variable demand. With the growing penetration of renewables on the grid, there are higher levels of non-controllable, variable generation resources. Because of that, the ISO must direct controllable resources to match both variable demand and variable supply. The net load curves best illustrate this variability. The net load is calculated by taking the forecasted load and subtracting the forecasted electricity production from variable generation resources, wind and solar. These curves capture the forecast variability. The daily net load curves capture one aspect of forecasted variability. There will also be variability intra-hour and day-to-day that must be managed. The ISO created curves for every day of the year from 2012 to 2020 to illustrate how the net load following need varies with changing grid conditions.

**Ramping flexibility**

The ISO needs a resource mix that can react quickly to adjust electricity production to meet the sharp changes in electricity net demand.

Figure 1 shows a net load curve for the January 11 study day for years 2012 through 2020. This curve shows the megawatt (MW) amounts the ISO must follow on the y axis over the different hours of the day shown on the x axis. Four distinct ramp periods emerge.



The first ramp of 8,000 MW in the upward direction (duck's tail) occurs in the morning starting around 4:00 a.m. as people get up and go about their daily routine. The second, in the downward direction, occurs after the sun comes up around 7:00 a.m. when on-line conventional generation is replaced by supply from solar generation resources (producing the belly of the duck). As the sun sets starting around 4:00 p.m., and solar generation ends, the ISO must dispatch resources that can meet the third and most significant daily ramp (the arch of the duck's neck). Immediately following this steep 11,000 MW ramp up, as demand on the system decreases into the evening hours, the ISO must reduce or shut down that generation to meet the final downward ramp.

### Flexible resources needed

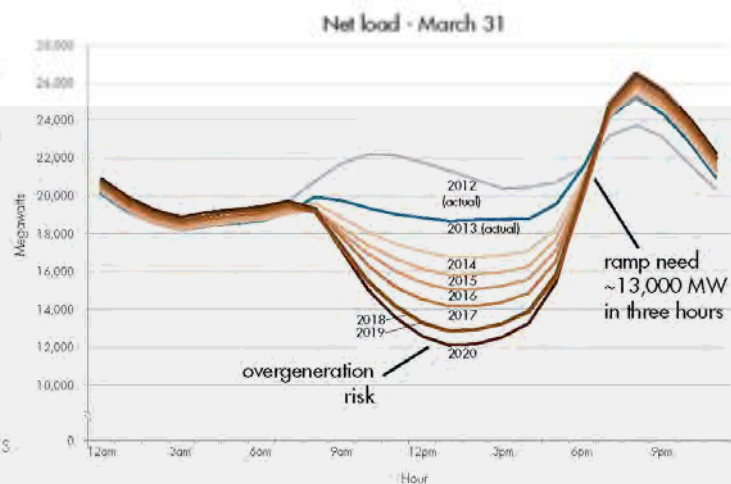
To ensure reliability under changing grid conditions, the ISO needs resources with ramping flexibility and the ability to start and stop multiple times per day. To ensure supply and demand match at all times, controllable resources will need the flexibility to change output levels and start and stop as dictated by realtime grid conditions. Grid ramping conditions will vary through the year. The net load curve or duck chart in **Figure 2** illustrates the steepening ramps expected during the spring. The duck chart shows the system requirement to supply an additional 13,000 MW, all within approximately three hours, to replace the electricity lost by solar power as the sun sets.

### Overgeneration mitigation

Overgeneration happens when more electricity is supplied than is needed to satisfy realtime electricity requirements. The ISO experiences overgeneration in two main operating conditions. The first occurs as the ISO prepares to meet the upcoming upward ramps that occur in the morning and in the late afternoon. The existing fleet includes many long-start resources that need time to come on line before they can support upcoming ramps. Therefore, they must produce at some minimum power output levels in times when this electricity is not needed. The second

occurs when output from any non-dispatchable/musttake resource further increases supply in times of low electricity need, typically in the nighttime hours. Historically, this condition was most likely to occur in the early morning hours when low demand combines with electricity and generation brought on line to prepare for the morning ramp. The duck curve in **Figure 2** shows that overgeneration is expected to occur during the middle of the day as well.

**Figure 2: The duck curve shows steep ramping needs and overgeneration risk**



Because the ISO must continuously balance supply and demand, steps must be taken to mitigate over-generation risk. These steps include increasing exports, expanding resource capabilities, and requiring renewable generation curtailment. The ability to export power depends on the needs of neighboring entities and balancing agreements. The available resources must evolve to include capabilities to start and stop multiple times per day and start with short notice from a zero or low electricity operating levels. The resource mix would also benefit from resources with energy storage capabilities and demand side response capabilities to help meet real-time system conditions.

#### **Reliable grids have automated frequency response**

System frequency measures the extent to which supply and demand are in balance. To ensure reliability, system frequency must be managed in a very tight band around 60 hertz. When an unexpected event occurs that disrupts the supply-demand balance, such as a loss of a generator or transmission line, frequency is impacted. These events do not allow time for manual response and balance is maintained through automated equipment. Conventional generation resources include frequency-sensing equipment, or governors, that automatically adjust electricity output within seconds in response to frequency to correct out-of-balance conditions.

Part of the renewable integration analysis conducted by the ISO uncovered concerns about frequency response capabilities due to the displacement of conventional generators on the system. The 2020 33% studies show that in times of low load and high renewable generation, as much as 60% of the energy production would come from renewable generators that displace conventional generation and frequency response capability. Under these operating conditions, the grid may not be able to prevent frequency decline following the loss of a large conventional generator or transmission asset. This situation arises because renewable generators are not currently required to include automated frequency response capability and are operated at full output (they can not increase power). Without this automated capability, the system becomes increasingly exposed to blackouts when generation or transmission outages occur.

#### **Policy needed for flexible resources**

To reliably manage the green grid, the ISO needs flexible resources with the right operational characteristics in the right location. The ISO is actively engaged in policy efforts to build awareness of the new grid needs. Working with the industry and policymakers, the ISO is collaborating on rules and new market mechanisms that support and encourage the development of flexible resources to ensure a reliable future grid.



5.4 Allegato 4



## EXCO Country Report

Country: *Italy*

Date of the Report: *24/03/2015*


EXCO Representative: *Massimo Falchetta*

EXCO Alternate: *Vittorio Brignoli*

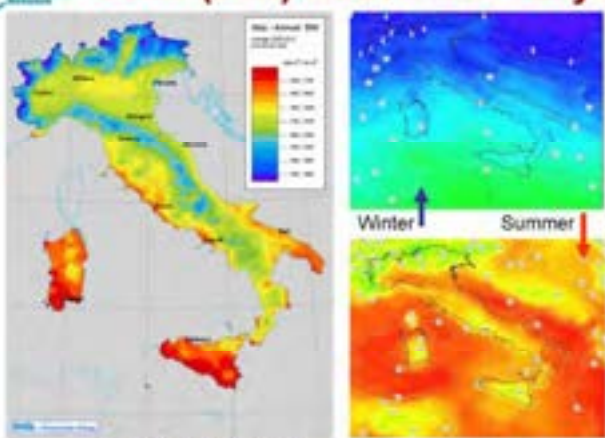
**Overview of In-Country CSP Activities:**

- Several new CSP plants (PT and fresnel - MW size) operating or under construction
- 3 new companies operating on fresnel or PT for medium temperatures (Soligva, CSP-F, Elianto) with ORC generators (Turboden, Exergy)
- 8 large plants + 9 small (1-4 MW) proposals/site evaluations. Pipeline: 361 MW
- ENEA R&D: 5 new EU funded projects (OMSOP, HYSOL, SOL2HY2, ORC-PLUS, RESLAG)
- ASE: continuing improvement of molten salt receiver in collaboration with ENEA. A 6 collector molten salt loop operates in Massa Martana

38 exco meeting SolarPACES - 24-29 March 2015, Roma, Italy



## Solar (DNI) Resource - Italy



[www.solaritaly.enea.it](http://www.solaritaly.enea.it)

39 exco meeting SolarPACES - 24-29 March 2015, Roma, Italy



**EXCO Country Report: Italy**

**New In-Country "MW size" Projects:**

PROJECT NAME	TYPE OF CSP PROJECT/DEVELOPER	SIZE OF PROJECT (MW)	STATUS
Inson - Park	Parabolic Trough for process heat (SOLTRUA)	1.4 MWth @ 175 °C	Commissioned Dec. 2014
Rende	Linear Fresnel hybridized to biomass - Falk renewables	1 MW solar 14 MW biomass	Commissioned - May 2014
Oltres	Linear Fresnel + ORC and 8 hr storage	0.35 MW	In construction
Mullis Archimede	Parabolic Trough + ORC and 1 hr storage	1 MW	In construction
Vilaviechi	Linear Fresnel with 1.5 hr discharge storage	0.6 MW	In construction

© exco meeting SolarPACES - 24-25 March 2015, Pavia, Italy



**EXCO Country Report: Italy**

**New "MW size" plants**



**Rende - Falk Renewables plant - 1 MW**

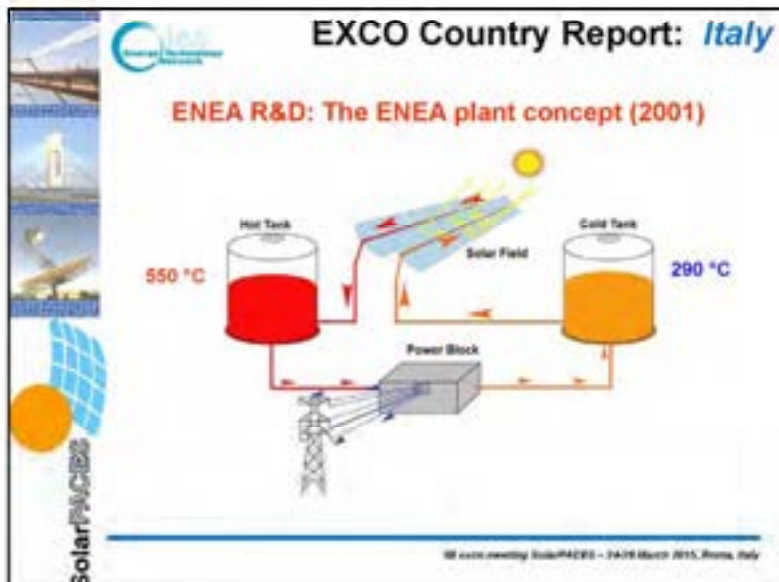
© exco meeting SolarPACES - 24-25 March 2015, Pavia, Italy

**EXCO Country Report: Italy**


**Country Participation in SolarPACES Tasks:**

- Task 1: CSP Electric Systems -- *Involved*
- Task 2: Solar Chemistry -- *Involved*
- Task 3: CSP Technology and Applications -- *Involved*
- Task 4: Solar heat integration in Industrial Processes -- *Not directly Involved*
- Task 5: Solar Resource Knowledge Mgmt. -- *Not Involved*
- Task 6: Solar Energy Water Applications -- *Not Involved*

30 exco meeting SolarPACES - 24-25 March 2015, Roma, Italy



**EXCO Country Report: Italy**  
**PCS circuit - 2003**

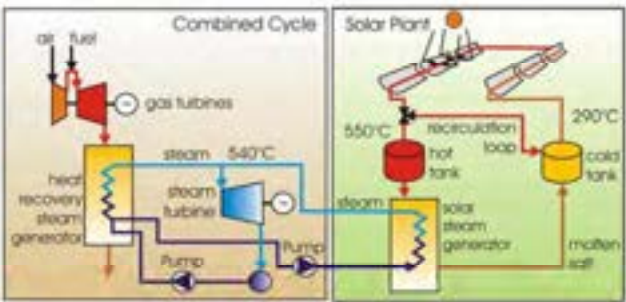


**SolarPACES**

38 exco meeting SolarPACES - 24/25 March 2015, Roma, Italy

The slide features a vertical sidebar on the left with four small images: a solar tower, a solar collector, a solar tower, and a solar collector. Below these is the SolarPACES logo, which consists of a blue grid pattern and an orange circle.

**EXCO Country Report: Italy**  
**Archimede ISCC – 2010**



**SolarPACES**

38 exco meeting SolarPACES - 24/25 March 2015, Roma, Italy

The diagram is divided into two main sections: 'Combined Cycle' and 'Solar Plant'.  
The 'Combined Cycle' section shows a gas turbine cycle where 'gas fuel' enters a 'gas turbine' which produces 'steam 540°C'. This steam is then used in a 'steam turbine' cycle. A 'heat recovery steam generator' is connected to the gas turbine's exhaust. A 'pump' circulates water between the steam turbine and the heat recovery steam generator.  
The 'Solar Plant' section shows a 'solar plant' with collectors receiving solar radiation. A 'recirculation loop' carries fluid from a 'hot tank' (at 550°C) to a 'cold tank' (at 290°C). The 'cold tank' feeds a 'solar steam generator', which produces 'steam' that is fed into the 'steam turbine' of the combined cycle. A 'pump' circulates the fluid between the solar steam generator and the hot tank.



## EXCO Country Report: *Italy*

### Industrial applications



**Archimede Project**  
Activities Update

Source: ENEL presentation at www.technology.it - 2012


**PLANT STATUS**

- **SOLAR FIELD:** Loops in operation since June 2011; 540°C reached.
- **STORAGE SYSTEM:** Hot salts are stored (>500°C) since June 2011.
- **SG:** SH Steam production since June 2011; SH steam integrated into Steam turbine since July11 (P-16 GH, 80-95 barg).






Archimede Project



EN EXCO meeting SolarPACES - 24-26 March 2015, Roma, Italy

## EXCO Country Report: *Italy*

### Industrial R&D

Experimental loop (600 m.) at Archimede Solar Energy (ASE) site in Massa Martana

**Demo plant's data**

- Nominal Thermal Power: 2 MW
- 1 loop of 6 100 m. collectors
- HTF: binary molten salts
- Nominal output temp.: 550 °C
- Storage: 5 h (50 tons of salt)

**Partners in Demo Plant development/construction**

- Chiyoda Corporation (Design, from ENEA concept)
- Techint, SQM, BFR Meccanica, AXEL, RDM, Reflex, GEU, Meccanotecnica Umbra

EN EXCO meeting SolarPACES - 24-26 March 2015, Roma, Italy



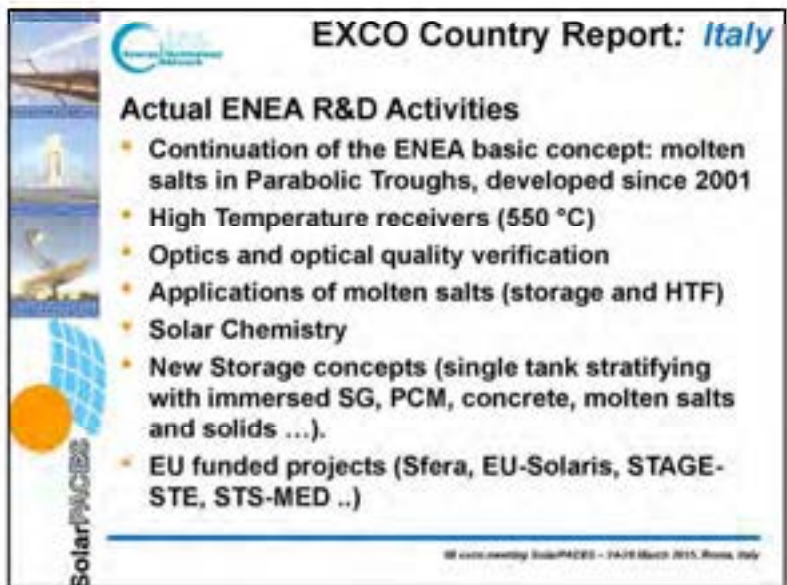
**EXCO Country Report: Italy**  
**Industrial R&D**



**ASE/Chiyoda molten salt experimental loop in Massa Martana**

38 exco meeting SolarPACES - 24-26 March 2015, Roma, Italy

**SolarPACES**



**EXCO Country Report: Italy**

**Actual ENEA R&D Activities**

- Continuation of the ENEA basic concept: molten salts in Parabolic Troughs, developed since 2001
- High Temperature receivers (550 °C)
- Optics and optical quality verification
- Applications of molten salts (storage and HTF)
- Solar Chemistry
- New Storage concepts (single tank stratifying with immersed SG, PCM, concrete, molten salts and solids ...).
- EU funded projects (Sfera, EU-Solaris, STAGE-STE, STS-MED ..)

38 exco meeting SolarPACES - 24-26 March 2015, Roma, Italy

**SolarPACES**

### EXCO Country Report: *Italy*

**Recent EU funded projects:**

- OMSOP – Solar Dish with micro-gas turbine
- STS-MED - deployment of small/medium scale Concentrating multi-generative systems for the Mediterranean area
- HYSOL – Molten salt storage for gas turbine exhaust gas
- Sol2Hy2 – Solar driven hydrogen production based on Hybrid Sulfur Cycle
- Comethy – Solar driven catalyzed steam-reforming at 500 °C

30 exco meeting SolarPACES – 24-25 March 2015, Roma, Italy

### EXCO Country Report: *Italy*

**OMSOP basic scheme**  
Optimised Microturbine Solar Power system

30 exco meeting SolarPACES – 24-25 March 2015, Roma, Italy

## EXCO Country Report: *Italy*

**STS-MED: 4 demonstrative plants will be deployed**

**Partners**

- **Asca Consortium** - Applicant organization (Italy)
- **ENEA** - Italian National Agency for new technologies, Energy and Sustainable Economic Development (Italy)
- **National Region** - Dept. of Production Activities (Italy)
- **Cyprus Chamber of Commerce and Industry** (Cyprus)
- **The Cyprus Institute** - Energy, Environment and Water Research Center (Cyprus)
- **Ministry of Energy and Mineral Resources** (Jordan)
- **Al Balqa** - Applied University (Jordan)
- **Milashem** - Energy Industries (Jordan)
- **Academy for Scientific Research and Technology** (Egypt) - Ministry of Science (Egypt)
- **New and Renewable Energy Authority** (Egypt)
- **University of Athens** - Institute of Accelerating Systems and Applications (Greece)
- **CE3I Provence** - Innovation Business Support (France)
- **CEA** - French Alternative Energies & Atomic Energy Center (France)

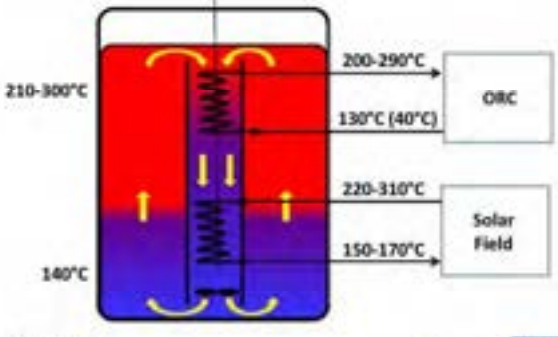





30 exco meeting SolarPACES - 24-25 March 2015, Parma, Italy

## EXCO Country Report: *Italy*

**STS-MED: ENEA Proposed storage system**



30 exco meeting SolarPACES - 24-25 March 2015, Parma, Italy

**EXCO Country Report: *Italy***  
**STS-MED: Plant's scheme for University of Palermo plant**

**SolarPACES**

STS

EXCO meeting SolarPACES - 24-25 March 2015, Roma, Italy

**EXCO Country Report: *Italy***

**Presentation continues with:**

- R&D Activities on solar receivers (A. De Luca)
- R&D Activities on Optics and optical measurements (M. Montecchi)
- R&D Activities on Solar Chemistry (A. Giaconia)

**SolarPACES**

EXCO meeting SolarPACES - 24-25 March 2015, Roma, Italy



5.5 Allegato 5



# EXCO Country Report

Country: *Italy*

Date of the Report: *24/03/2015*

*Heat Collector Element at high temperature  
for parabolic troughs*

*A. De Luca*

*antonio.deluca@enea.it*



88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



## First cermet patent

- Oxide based cermet coating
  - Absorptance 94.6%
  - Emittance  $\cong$  14 % at 550 °C
  - High chemical and structural stability in operation at 580 °C
- The HCEs for the Archimede Solar Plant of Priolo Gargallo (Sicily), have been produced with this cermet coating, by the co-sputtering system designed and realized at ENEA R. C. of Portici



88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy





## Second cermet patent

- Nitride based cermet coating
  - Absorptance 95%
  - Emittance  $\cong$  14 % at 550 °C
  - High chemical and structural stability at temperature over than 600 °C
- The coating has been developed on laboratory scale by a reactive sputtering system designed and realized at ENEA R. C. of Portici



- The sputtering process has been developed on large scale by Archimede Solar Energy, for the industrial production of HCEs

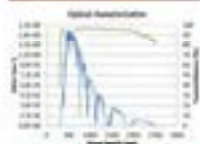
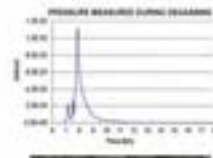
88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



## Engineering of the HCE

Several technologies have been also developed for the manufacturing process of the HCE :

- Glass to metal seal
- R&D in laboratory of an Anti Reflective coating by SOL-GEL dip-coating and scale-up of the process on glass tubes about 4 m long
- Automatic process of vacuum degassing with steel tube at 580 °C
- Automatic sealing process of the HCE under vacuum



All these technologies have been further developed by Archimede Solar Energy, for the industrial production of HCEs

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



SolarPACES



### Heat Loss test bench

- The test is performed heating the steel tube by an electric power generator (AC)
- At the steady state the heat loss is equal to the average electric power supplied to the steel tube



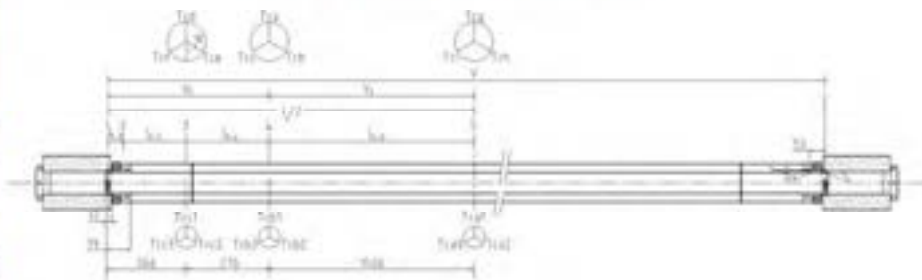
88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



SolarPACES



### Heat loss test settings



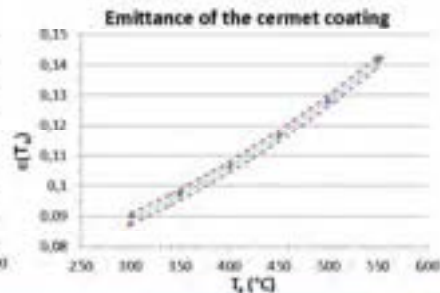
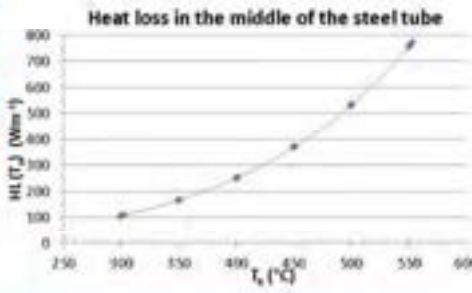
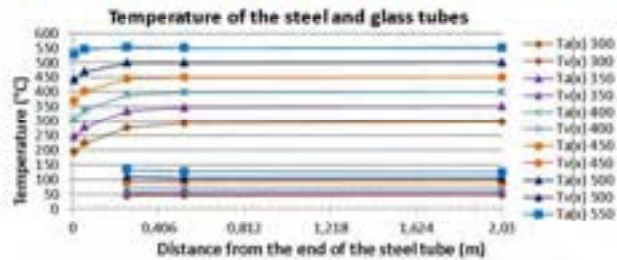
- 11 thermocouples positioned inside the steel tube
- 9 thermocouples on the surface of the glass tube
- Measurement of V, V1, V2 voltages, for checking:  $V \approx 2(V1+V2)$
- The electric power supplied to the steel tube is controlled by software, as a function of the mean temperature measured in the middle section of the steel tube

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy





## Heat loss measurements in laboratory



88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



SolarPACES



## PCS experimental plant



- Two solar collectors connected in series, for a total length of about 100 m of reflective parabolas with aperture about 6 m
- Mirrors supported by parabolic panels of composite material
- Hydraulic pistons system for tracking the Sun position
- The range of molten salt mass flow rate is 4+9 Kg/s
- Thermocouples are positioned on the lines of HCEs every 12 m for monitoring the steel tube temperature. The molten salt temperature are measured in the inlet and outlet sections of both solar collectors

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

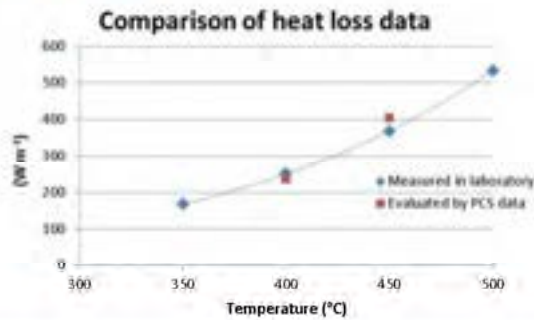


SolarPACES



### Heat loss measurements on the PCS plant

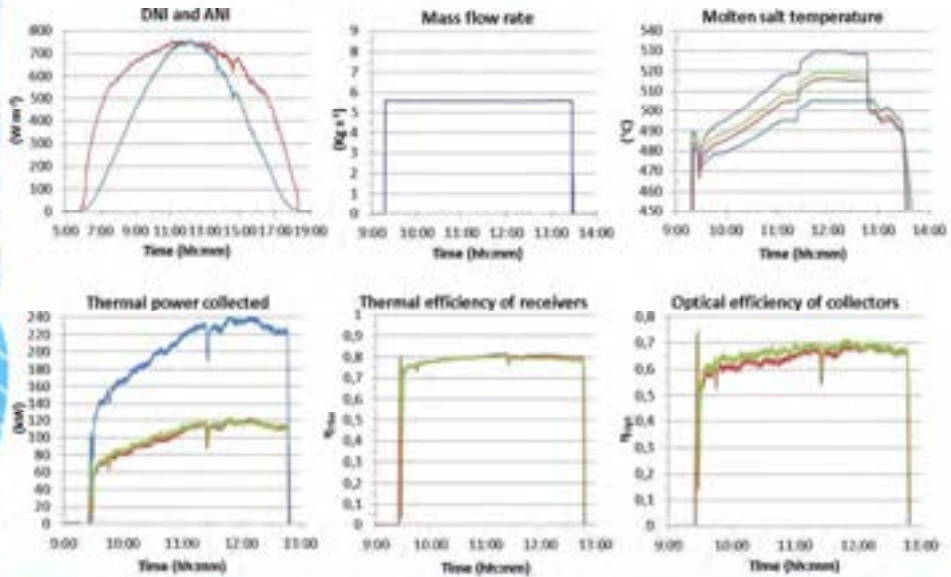
- The measurements are performed fixing the mass flow rate up to the steady state of the temperatures in the inlet and outlet section of the solar collectors, for at least half an hour
- The comparison of the test results with the heat loss measured in laboratory, gives information about the ageing of the receiver tubes in operation



## exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



### Solar tracking data of the PCS plant



## exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



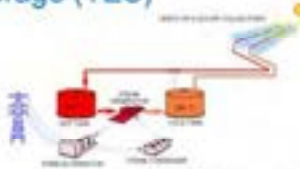


**SolarPACES**



## R&D for solar plants at high temperature

- The ENEA reference design for innovative solar plants is based on the use of parabolic troughs with the binary mixture of salt 60%NaNO<sub>3</sub>, 40%KNO<sub>3</sub>, as Heat Transfer Fluid (HTF) and Thermal Energy Storage (TES)



The possibility to use a new salt mixture with lower solidification temperature as HTF and the binary mixture as TES, will be studied to verify if this solution can be accepted in terms of cost

- Researches are in progress for exploiting the characteristics of the binary mixture of salt as thermocline, for solar plants with just one storage tank
- Other researches are in progress for a hybrid solar plant with gaseous HTF operating in a thermodynamic cycle of Brayton. In this case the TES material should be pellets of alumina stowed in pressurized steel tubes

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



**SolarPACES**



## Final remarks

- The aim of the ENEA Research on parabolic troughs is to develop solar power plants with high temperature and thermal energy storage system
- Several conceptual design of innovative solar plants with high temperature are also studied to evaluate new possibilities of development
- The R&D activities are performed in cooperation with industrial partners interested to invest in new technologies

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



5.6 Allegato 6





## EXCO Country Report: *Italy*

### ENEA optical facilities for qualification of CSP components


**Marco Montecchi**


ENEA- CASACCIA  
S. Maria di Galeria (Roma), Italy

marco.montecchi@enea.it



---

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy





## ENEA optical facilities: overview

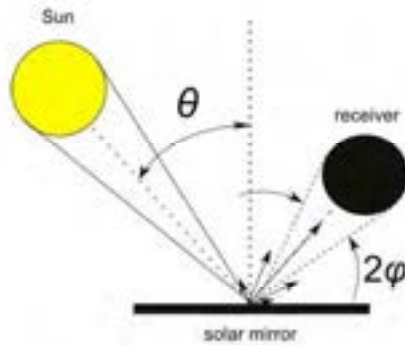
Measurand	Instrument	Status
Solar reflectance	<b>SMQ</b>	operative
Panel shape	<b>VISprofile</b>	operative & marketed
PT modules:	<b>VISfield</b>	operative & marketed
• intercept factor	<b>VISfly</b>	experimental 
• optimisation		
• facet compliance		
Dish shape	<b>VISdish</b>	experimental 

---

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



# Reflectance of solar mirrors



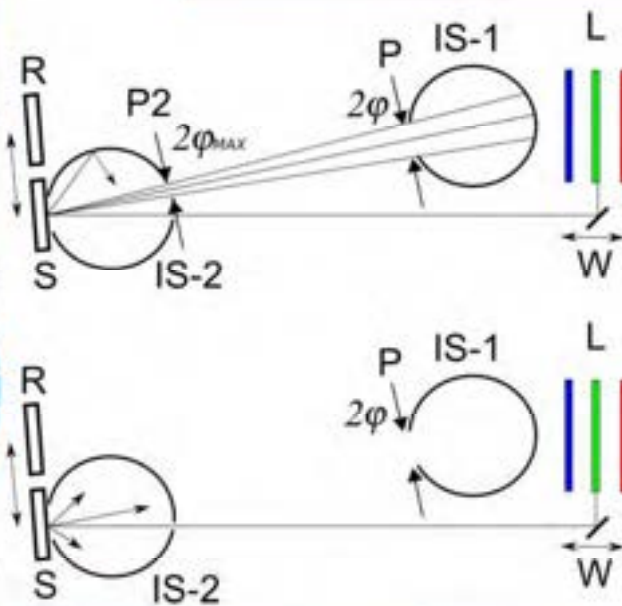
**Hemispherical reflectance:** easy to measure but not fully relevant!

**Near-specular reflectance ( $\phi$ ):** the most appropriate, but needs of specific experimental set-up (not available in the market)!



88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

# SMQ: Solar Mirror Qualification



**REFLECTANCE:**

- near-specular in the range 3-20 mrad
- diffuse beyond 20 mrad

**HEMISPHERICAL**

$$\frac{\rho_s(\lambda, \theta, \varphi)}{\rho_h(\lambda, \theta, h)}$$



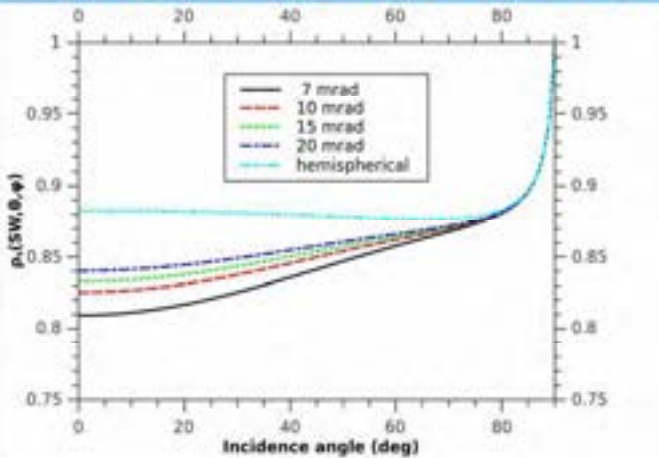
88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



SolarPACES



## SMQ: solar reflectance evaluation



- SMQ + hemispherical spectrum (300-2500 nm) & data processing:**
- 1) SMQ data interpolation with Total Integrated Scattering relationship
  - 2) off-normal hemispherical prediction by Equivalent Model Algorithm
  - 3) averaging according with ASTM-G173-03

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



SolarPACES



## ENEA optical facilities: overview

Measurand	Instrument	Status
Solar reflectance	<a href="#">SMQ</a>	operative
Panel shape	<a href="#">VISprofile</a>	operative & marketed
PT modules:	<a href="#">VISfield</a>	operative & marketed
<ul style="list-style-type: none"> <li>• intercept factor</li> <li>• optimisation</li> <li>• facet compliance</li> </ul>	<a href="#">VISfly</a>	experimental 
Dish shape	<a href="#">VISdish</a>	experimental 

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

## VIS stands for Visual Inspection System



**VIS concept:**  
observation of the image of an object put in (close to) the CSP focus reflector



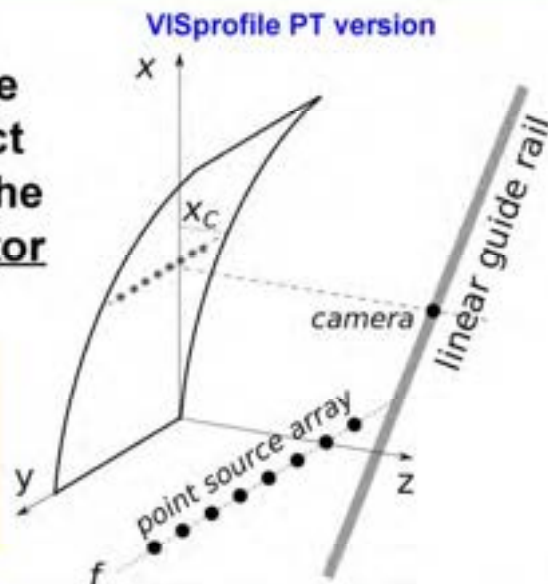
88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

## VIS stands for Visual Inspection System




**VIS concept:**  
observation of the image of an object put in (close to) the CSP focus reflector


**VISprofile**  
for measuring facet shape:  
• 3D (x, y, z,  $\partial x$ ,  $\partial y$ )



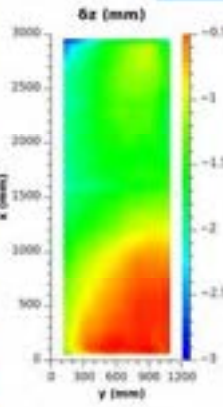
88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



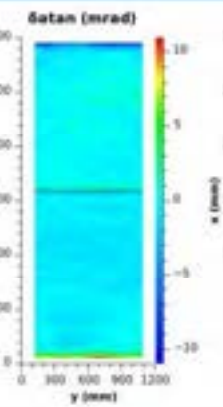




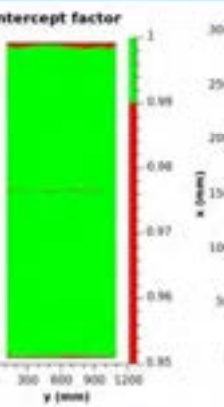
## VISprofile for research & industry




$\delta z$  (mm)



$\delta \text{atan}$  (mrad)



Intercept factor




$d_{\text{sun}}$  (mm)

**Accuracy:**  $\approx 20 \mu\text{rad}$  (slope)  $50 \mu\text{m}$  (z)


**VISprofile strengths:**


- high accuracy
- compactness
- simplicity

VISprofile is marketed by

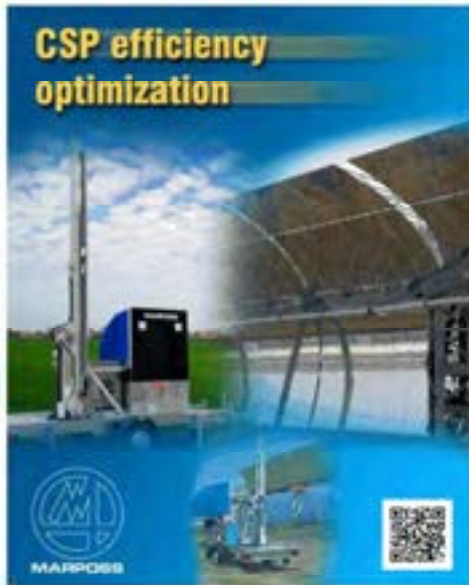


88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

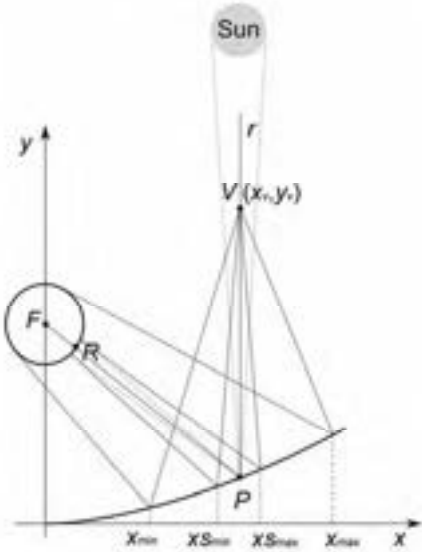




## VISfield for in-situ PT-modules check



CSP efficiency optimization

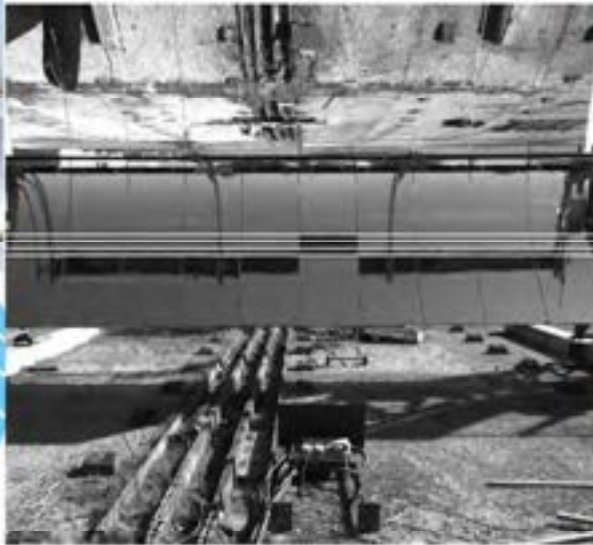


88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

## VISfield intercept factor evaluation



SolarPACES



The intercept factor is **directly** evaluated from the frame analysis.  
(No ray tracing!)

Xmin  
XSmin  
XSmax  
Xmax

The intercept factor is approximately the portion of [xsmin,xsmax] range covered by the HCE image

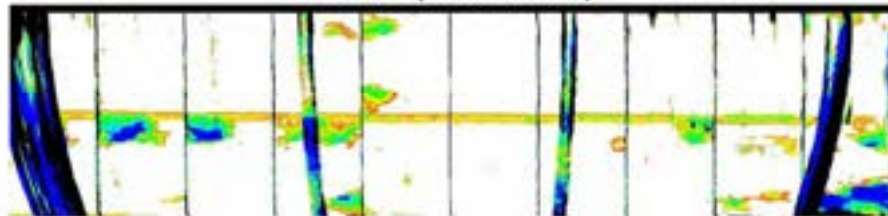
88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

## VISfield functioning



SolarPACES

intercept-factor map



### VIS functioning:


- intercept-factor measurement
- final check of facet compliance
- facet canting


### Optical level functioning:


- measurement of the offset-angle of the collector
- check of receiver alignment

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy










## VISfly

### aerial version of VISfield


**Restrictive laws & high cost of drones**

➔


**partnership with experienced drone operator**




Cloud - Cam




NUOVI SISTEMI






**Main issue:**  
position and attitude determination.  
 DGPS and RTK are not yet available.


inverse photogrammetry





The activity on VISfly is partially supported by the E.U. project STAGE-STE

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



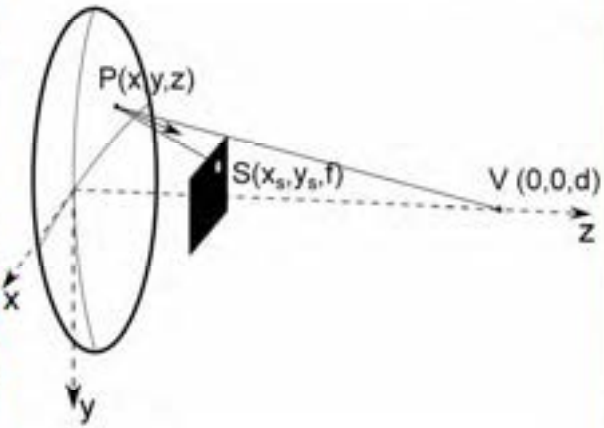






## VISdish

### measurement of dish shape



V = observer  
 S = point source  
 P = dish-point where V sees the S-image


S is set at a number of different positions and each time V acquires an image

By trigonometry  
 3D (x, y, z, ∂x, ∂y)

By ray-tracing prediction of  
**flux-map**

The activity on VISdish is partially supported by the E.U. project OMSop

88 exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy







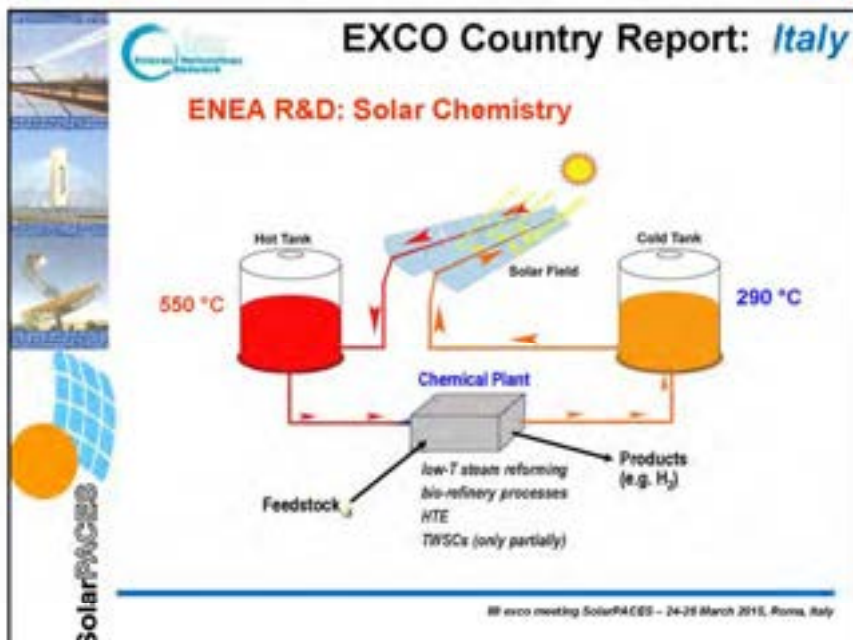
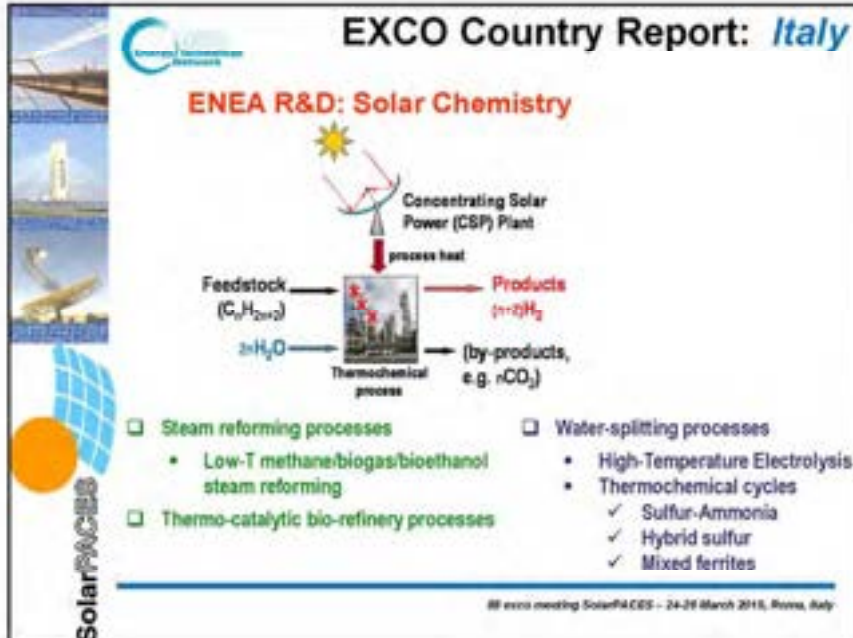
## ENEA optical facilities: conclusions

ENEA developed and is developing original optical instrumentations for the qualification of many CSP components:

- **SMQ**, for solar mirrors
- **VISprofile**, for facets
- **VISfield** & **VISfly**, for PT modules
- **VISdish**, for dish



5.7 Allegato 7







**EXCO Country Report: *Italy***

**ENEA R&D: Solar Chemistry – Solar Reforming**

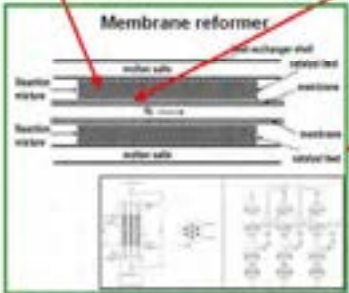
**Advanced catalysts for low-temperature clean reforming (e.g., methane, ethanol)**




**Selective membranes for hydrogen separation**





**Membrane reformer**



**Coupling with CSP plants**






CoMETHy ("Compact Multi-fuel-Energy To Hydrogen converter") is a EC-ITP Collaborative Project co-funded by the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)



8th exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

**EXCO Country Report: *Italy***

**ENEA R&D: Solar Chemistry – Solar Reforming**

CoMETHy ("Compact Multi-fuel-Energy To Hydrogen converter") is a EC-ITP Collaborative Project co-funded by the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

8th exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



### EXCO Country Report: *Italy*

#### ENEA R&D: Solar Chemistry – Biorefinery

**Non food competitive biomass feedstock:**

- lignocellulosic biomass
- microalgae

**Value-added chemical products:**

- Syngas
- hydrogen
- methane
- bio-oils
- bioethanol
- etc.

This work is carried out by ENEA in cooperation with the Chemical Engineering Dept. of the University of Palermo in the framework of an Italia National programme for Research & EU 7FP STAGE-STC project WP9

8th exco meeting SolarFACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

### EXCO Country Report: *Italy*

#### ENEA R&D: Solar Chemistry – Biorefinery

**batch reactor (28 ml) used in the HTL tests**

**Bio-refinery plant**

Liquid Hot Water Depolymerization (LHW)	150-220 °C
Hydrothermal Liquefaction (HTL)	280-375 °C
Supercritical Water Gasification (SCWG)	375 - 700 °C

This work is carried out by ENEA in cooperation with the Chemical Engineering Dept. of the University of Palermo in the framework of an Italia National programme for Research & EU 7FP STAGE-STC project WP9

8th exco meeting SolarFACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

### EXCO Country Report: *Italy*

#### ENEA R&D: Solar Chemistry – High-T electrolysis

Hydrogen production by High Temperature Electrolysis (HTE) of steam in molten alkali carbonate (MAC) salts

Basic electrochemical reactions:

cathode:  $CO_3^{2-} + H_2O + 2e = H_2 + CO_3^{2-}$

anode:  $CO_3^{2-} = CO_2 + 0.5O_2 + 2e$  **CO<sub>2</sub> 67- 33 O<sub>2</sub> exit gas at anode: CO<sub>2</sub> separation by oxyfuel combustion**

overall:  $H_2O = H_2 + 0.5O_2$

**SolarPACES**

III exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy

### EXCO Country Report: *Italy*

#### ENEA R&D: Solar Chemistry – HyS cycle

Hydrogen production by the "hybrid sulfur" thermochemical water-splitting cycle, in the framework of the EU SOL2HY2 project

1)  $H_2SO_4 \rightarrow H_2O + SO_2 + \frac{1}{2} O_2$

2)  $SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + H_2$

$H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$

catalysed,  $NiPO$ ,  $T = 800-900\text{ }^\circ\text{C}$   
electrolysis, ca.  $80\text{ }^\circ\text{C}$

**SOL2HY2** ("Solar To Hydrogen Hybrid Cycles") is a EC-FPF Collaborative Project co-funded by the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

**SolarPACES**

III exco meeting SolarPACES – 24-26 March 2015, Roma, Italy



## EXCO Country Report: *Italy*

### ENEA R&D: Solar Chemistry – HyS cycle

Hydrogen production by the "hybrid sulfur" thermochemical water-splitting cycle, in the framework of the EU SOL2HY2 project

SEVEN FRAMEWORK PROGRAMME  
FCR-JI-012-1

SP4-JT5-FCH2012.2.5  
Thermo-electrical-chemical processes  
with solar heat sources

Project acronym: SOL2HY2

Project full title:  
**Solar To Hydrogen Hybrid Cycles**

**PARTNERS:**

# exco meeting SolarFACES – 24-25 March 2015, Roma, Italy

## EXCO Country Report: *Italy*

### ENEA R&D: Solar Chemistry – HyS cycle

SOL2HY2 ("Solar To Hydrogen Hybrid Cycles") is a EC-ITP Collaborative Project co-funded by the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

# exco meeting SolarFACES – 24-25 March 2015, Roma, Italy

## EXCO Country Report: *Italy*

### ENEA R&D: Solar Chemistry – HyS cycle

Laboratory test rig for the characterization of SO<sub>3</sub> splitting catalysts for the high-temperature solar receiver (800-1000°C) installed at ENEA-Casaccia

SOL2HY2 ("Solar To Hydrogen Hybrid Cycles") is a EC-ITP Collaborative Project co-funded by the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

18<sup>th</sup> exco meeting SolarPACES – 24-28 March 2015, Roma, Italy

## EXCO Country Report: *Italy*

### ENEA R&D: Solar Chemistry – HyS cycle

SOL2HY2 ("Solar To Hydrogen Hybrid Cycles") is a EC-ITP Collaborative Project co-funded by the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

18<sup>th</sup> exco meeting SolarPACES – 24-28 March 2015, Roma, Italy

### EXCO Country Report: *Italy*

**ENEA R&D: Solar Chemistry – S-A cycle**

Hydrogen production by the Sulfur-Ammonia (S-A) photo-thermochemical water-splitting cycle

Photochemical reactor (< 80°C)      Direct (UV-VIS) radiation      Direct process heat      Thermochemical plant (< 900°C)

ammonia, metal oxide, SO<sub>2</sub>  
ammonium & metal sulfates

H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>      O<sub>2</sub>

- 1) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → H<sub>2</sub>O + SO<sub>2</sub> + ½ O<sub>2</sub>
- 2) SO<sub>2</sub> + 2 NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O → (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>
- 3) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O → (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>
- 4) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$

catalysed, ΔH>0, T = 850-900 °C  
 ca. 80 °C (for O<sub>2</sub> separation)  
 photocatalytic, T = 80 °C  
 T<sub>th</sub> 300 °C

National Project, PRIN 2010-2013, co-funded by the Italian Ministry of Education, University and Research, Budget: ca. 0.4 ME

III exco meeting SolarPACES – 24-28 March 2015, Roma, Italy

### EXCO Country Report: *Italy*

**Thank you for your attention!**

**ENEA**

Dr. Eng. Alberto Giaconia, Ph.D.  
 ENEA – Casaccia Research Center  
 Technical Unit for Renewable Energy Sources  
 Via Anguillarese 301 - 00123 Rome (Italy)  
 Tel. +39 06 3048 6542  
 Email: alberto.giaconia@enea.it

III exco meeting SolarPACES – 24-28 March 2015, Roma, Italy