

**RAPPORTO FINALE SUI RISULTATI DEL PROGETTO COMUNE DI RICERCA
FINAL REPORT ON RESULTS OF JOINT RESEARCH PROJECT**

1. Accordo /Agreement CNR / CAS. anni/ years 2014-2016..	
2. Titolo del progetto <i>Sviluppo di tecniche di analisi e di assimilazione dei nuovi sistemi di osservazione della terra in modelli di accrescimento colturale: il caso di studio delle colture cerealicole in Italia ed in Cina</i> 2. Title of the project <i>Development of analysis and assimilation techniques of the new advanced earth observation satellite data into crop growth models: the case study of cereal crops in Italy and China'</i>	
Parole chiave (massimo 3) <i>Telerilevamento ottico, monitoraggio delle colture, variabili biofisiche vegetazione</i> Key words (max. 3) <i>Optical remote sensing, crop monitoring, crop biophysical variables</i>	
(solo per parte italiana) Area scientifica / Scientific area (tabella 1/ table1): <i>Dipartimento Terra e Ambiente</i>	
3. Responsabili del progetto Project leaders	
Responsabile italiano <i>Stefano Pignatti Morano</i>	Project leader <i>Wenjiang Huang</i>
istituto di appartenenza <i>CNR IMAA</i> indirizzo <i>C.da S. Loja s.n.c., 85050 Tito (Potenza), Italy</i>	affiliation <i>Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences. (CAS-RADI)</i> address <i>No.9 Dengzhuang South Road, Haidian District Beijing 100094, P.R.China</i>

4. Obiettivi del progetto

- 1) Valutare le potenzialità offerte dai dati ottici multi/iperspettrali da satellite per il retrieving delle variabili biofisiche delle colture cerealicole in siti test in Cina ed Italia e la loro evoluzione nel tempo per il monitoraggio del loro stato di salute (stress idrico e vigore della coltura);
- 2) Sviluppare nuovi metodi e prodotti per monitorare e prevedere in modo accurato e tempestivo lo stato di salute delle colture cerealicole in alcune aree test (Cina e Italia) sulla base dell'integrazione di dati a terra e da satellite;
- 3) Assimilare i parametri biochimici e biofisici di base in un modello di coltura per la stima di variabili biofisiche delle canopy delle colture utili in fase di previsione sulla resa spaziale delle colture;
- 4) Fornire prodotti preliminari agli utenti in modo da favorire la massimizzazione le rese, i profitti degli agricoltori e sostenere a lungo termine le attività agricole per le pratiche di gestione sostenibile;
- 5) Promuovere l'applicazione dei dati satellitari per l'agricoltura di precisione delle colture cerealicole.

4. Aims of the project

- 1) Assess the potential offered the optical multi / hyperspectral satellite data for retrieving biophysical variables of cereal crops and their evolution over time to monitor their state of health (stress water and culture force) in test sites in China and Italy;
- 2) Develop new methods and products to monitor and predict accurately and timely the health of cereal crops in some test areas (China and Italy) based on the integration of ground and satellite data;
- 3) Assimilate the basic biophysical and biochemical parameters into crop models to estimate the biophysical variables of the canopy when forecasting crop yield;
- 4) Provide preliminary products to end-users to facilitate the maximization yields, profits of farmers and long-term support agricultural activities for sustainable management practices;
- 5) Promote the application of the satellite data for precision farming of cereal crops

5. Risultati ottenuti per obiettivo (1 pagina)

I buoni risultati sono stati ottenuti grazie al cofinanziamento di un PhD la cui attività di ricerca ha usufruito di un periodo di formazione c/o le istituzioni di ricerca cinesi. I prodotti della ricerca sono stati pubblicati su riviste internazionali con IF. Ulteriori lavori sono in fase di sottomissione. Tra i principali risultati della collaborazione vi sono alcuni progetti di ricerca congiunti sottomessi sia in contesto europeo (ESA) che nazionale Cinese (NSFC). Il progetto sottomesso ad ESA è stato approvato, mentre quello sottomesso in Cina alla NSFC è ancora in fase di valutazione.

1) I dati ottici utilizzati sono i seguenti: VHR (risoluzione spaziale-GSD di 2-5 m), di media risoluzione (30m GSD) sia EU che Cinesi, insieme ai dati iperspettrali (30m GSD) del sensore Hyperion (USGA). Questi dati sono stati sperimentati sui due test site nazionali (Maccarese e Yangling). Le colture di riferimento sono state grano e mais sulle quali sono state condotte due campagne di misura in situ. I diversi approcci di processing dei dati remoti ed in situ (empirici e fisicamente basati) hanno permesso di definire nuove relazioni basate per migliorare la stima di variabili biofisiche e biochimiche della vegetazione. Nello specifico pigmenti e LAI. [1, 4, A, B]

2) Sono stati sperimentati due crop growth models (Aquacrop e SAFY) per la stima delle variabili di resa e Water User Efficiency. E' stata utilizzata una Global Sensitivity Analysis (GSA), utilizzando due tecniche Morris e EFAST (Extended Fourier Amplitude Sensitivity Test) per identificare le performance del modello in funzione delle variabili di stato di input con particolare riguardo alle variabili derivate da dati EO [C]

3) L'assimilazione di variabili biofisiche derivate da telerilevamento in modelli colturali è una metodologia promettente che può essere utilizzata anche per la valutazione dell'impatto della scarsità d'acqua sulla resa. In questa fase sono state implementate due tecniche, la prima di assimilazione Kalman per il modello SAFY, la seconda di calibrazione Particle Swarm Optimization (PSO) su Aquacrop (modello FAO). I risultati preliminari con AquaCrop, hanno dimostrato la sua adeguatezza per fornire la stima della resa in funzione dalla disponibilità di acqua, anche se alcune difficoltà sono presenti per le applicazioni spazializzate. La sua complessità più alta rende la calibrazione più difficile, la scelta dei valori da assegnare ai parametri non varianti (non ricalibrato) è basata sulla letteratura e su una calibrazione preliminare, il che per applicazioni su scala regionale potrebbe essere una forte limitazione. I risultati preliminari con il modello SAFY (meno complesso) sembrano indicare che la procedura di assimilazione EnKF fornisca risultati migliori considerando anche il minor numero di parametri. La precisione di SAFY è inferiore ad Aquacrop, ma utilizzando il metodo di assimilazione EnKF del parametro LAI è stato possibile aumentarla, raggiungendo un valore ottimale di precisione, seppur di poco inferiore a quella di Aquacrop. [2, 3, 8, 7, C]

4) L'assimilazione delle variabili di LAI (derivate dai dati ottici cinesi HJ-1) e la biomassa derivata dai dati SAR con tecniche di decomposizione polarimetrica sono state utilizzate in applicazioni spaziali con i dati raccolti nella zona rurale di Yangling (Shaanxi) nel 2014 e poi sono stati validati, per un ridotto numero di campi di grano, utilizzando i bollettini di produzione (fonte National Bureau of Statistics of China). L'errore di stima della produzione di grano derivata da EnKF-SAFY è intorno al 17% rispetto alle statistiche (per il 2013 è di circa il 18% e per il 2014 è di circa il 16%).

5) Quest'ultima fase si è sviluppata attraverso la partecipazione a congressi nazionali ed internazionali. Inoltre il team italiano ha partecipato alla redazione di un libro sulla applicazione del telerilevamento in agricoltura di precisione edito da Edagricola (in stampa) per la divulgazione delle tecniche di telerilevamento nel contesto degli operatori agricoli.

5. Achieved results (one page)

The good results were achieved thanks to the co-financing of a PhD, whose research has benefited from a period of training in Chinese research institutions. The products of research have been published in international journals with IF. Further work is under submission. The main products of the collaboration were some joint research projects submitted both in the European context (ESA) and the national Chinese ones (NSFC). The project submitted to ESA was approved while the submissive in China to NSFC is still under evaluation.

1) The optical data used, i.e. VHR (GSD 2-5m), medium resolution (GSD 30m) both EU and China, along with the hyperspectral data (30m GSD) of the Hyperion sensor (USGS), have been tested on two national test sites (Maccarese and Yangling). The reference crops were winter wheat and corn on which two measurement campaigns in situ were performed. The different processing approaches (empirical- and physically-based) of the combined use of remote and in situ data has allowed to define new relations to improve the estimation of biophysical and biochemical variables of vegetation. Specifically, pigments and LAI. [1, 4, A, B]

2) Two crop growth models were tested (Aquacrop and SAFY) for estimating yield and Water User Efficiency variables (WUE). A Global Sensitivity Analysis (GSA) was applied by using two techniques Morris and EFAST (Extended Fourier Amplitude Sensitivity Test) for identifying the model performance as a function of input variables and, in particular, to the variables derived from EO data [C]

3) The assimilation of biophysical variables derived from remote sensing in crop growing models is a promising method, which can also be used for assessing the impact of water scarcity (drought) on the yield. In this phase, two techniques have been implemented: the first is the Kalman assimilation procedure for SAFY model, the second is the particle swarm optimization (PSO) for Aquacrop. Preliminary assimilation results show AquaCrop suitability to provide an estimate of the system depending on the availability of water, although there are some difficulties for spatialized applications. Its complexity makes the most difficult calibration complexity, the choice of values to be assigned to the not variant parameters (not recalibrated) is based on the literature and on a preliminary calibration, but for regional scale applications, this could determine a strong limitation. Preliminary results obtained by applying the SAFY model (less complex) highlights that the EnKF assimilation procedure provides better results even considering the least number of input parameters. The accuracy of SAFY is less than Aquacrop, however, using the EnKF method for assimilation of the LAI parameter it is possible to increase it, and thus reaching an optimal accuracy. [2, 3, 8, 7, C]

4) The assimilation of the variables (LAI as derived from the Chinese optical data HJ-1 and biomass using SAR data) using polarimetric decomposition techniques, have been used in space applications with data collected in the rural area of Yangling (Shaanxi) in 2014. These variables were validated for a limited number of fields of winter wheat using statistical bulletins for yield production (source National Bureau of Statistics of China). The estimation error of winter-wheat yield from EnKF-SAFY is around 17% compared to the statistics (for 2013 is about 18% and for 2014 is about 16%).

5) This last objective has developed through participation to national and international conferences. In addition, the Italian team has participated in the preparation of a book for precision agriculture, published by Italian Ed. Agricola (in press), for the dissemination of remote sensing techniques in the context of national agricultural operators.

6. Prodotti del progetto / Results obtained	
	n./no.
Pubblicaz. scient. su riviste internaz./ scientific publications on international reviews con IF-----4----- 0 senza IF	4
Pubblicaz. in atti congressi internaz./ publications in international congress proceedings	4
Pubblicazioni in atti congressi nazionali / publications in national congress proceedings	
Pubblicazione libri nazionali / Publication of national books	1
Pubblicazione libri internazionali / Publication of international books	
Altre pubblicazioni / other publications	
Brevetti / Patents	
Prototipi / Prototypes	
Strumentazione / Equipment and /or Devices	
Programmi software / Software	
Banche dati / Data bases	
Protocolli / Protocols	
Nuovi Materiali / New Materials	
Nuovi processi / New processes	
Cataloghi/inventari/repertori / Catalogues/Inventories	
Atlanti/Carte/Mappe / Atlases/Charts/Maps	
Progetti di ricerca / Reserch project	1
Trasferimento innovazioni / Knowledge transfer	
Laboratori congiunti / Joint laboratories	
Alta formazione / Training	
Altro / Other	

7. Informazioni dettagliate sui risultati indicati sub 6

Here the list of the project research results in which is clear the sino-italian co-authorships of the works

IF journal:

1. Qiaoyun Xie, Wenjiang Huang, Bing Zhang, Pengfei Chen, Xiaoyu Song, Simone Pascucci, Stefano Pignatti, Giovanni Laneve, Yingying Dong. *Estimating Winter Wheat Leaf Area Index From Ground and Hyperspectral Observations Using Vegetation Indices* IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. Volume: 9, Issue: 2, Feb. 2016.
2. Yang, Hao and Chen, Erxue and Li, Zengyuan and Zhao, Chunjiang and Yang, Guijun and Pignatti, Stefano and Casa, Raffaele and Zhao, Lei. *Wheat lodging monitoring using polarimetric index from RADARSAT-2 data* International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, V34, pg 157-166, 2015.
3. Yang, Hao and Li, Zengyuan and Chen, Erxue and Zhao, Chunjiang and Yang, Guijun and Casa, Raffaele and Pignatti, Stefano and Feng, Qi. *Temporal polarimetric behavior of oilseed rape (Brassica napus L.) at C-band for early season sowing date monitoring*. Remote Sensing. V6-11, pg. 10375-10394. 2014.
4. F Castaldi, R Casa, F Pelosi, Hao Yang. *Influence of acquisition time and resolution on wheat yield estimation at the field scale from canopy biophysical variables retrieved from SPOT satellite data* International Journal of Remote Sensing 36(9):2438-2459 May 2015 DOI:0.1080/01431161.2015.1041174

National and International proceedings

5. R. Casa; P. C. Silvestro; H. Yang; S. Pignatti; S. Pascucci; G. Yang. Development of farmland drought assessment tools based on the assimilation of remotely sensed canopy biophysical variables into crop water response models IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International 26-31 July 2015 DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326703
6. R Anniballe, R Casa, F Castaldi, F Fascetti, F Fusilli, W Huang, G Laneve, P Marzioletti, A Palombo, S Pascucci, N Pierdicca, S Pignatti, X Qiaoyun, F Santini, PC Silvestro, H Yang, G Yang. Synergistic use of radar and optical data for agricultural data products assimilation: A case study in Central Italy 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326544
7. G Yang, H Yang, X Jin, S Pignatti, R Casa, S Pascucci. Research Progress of Farmland Drought Monitoring and Prediction Based on Multi-Source Remote Sensing Data. Dragon 3 Mid Term Results, Proceedings of the conference held 26-29 May 2015 at Chengdu, China. Edited by L. Ouwehand. ESA SP Vol. 724. ISBN: 978-92-9092-288-9, id.28
8. Casa R., Silvestro P.C. , Yang H., Pignatti S. Pascucci S., Yang G. Assimilation of remotely sensed canopy variables into crop models for an assessment of drought-related yield losses: a comparison of models of different complexity IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International July 10–15, 2016

To be submitted to IF journal - Under review

- A. Combining the red and red edge spectral information to estimate leaf area index
- B. A newly integrated spectral index for carotenoids/chlorophylls ratio assessment with PROSPECT-5 simulations and hyperspectral reflectance measurements
- C. Comparative sensitivity analysis of two crop models for the assessment of drought related wheat yield losses from remote sensing data assimilation

Book

Il telerilevamento per l'agricoltura di precisione. Ed. Edagricola *in press*

7. Detailed information on results indicated under point 6

See the above list of the publications

**8. Formazione di giovani ricercatori
Training of young researchers.**

During the 3 years project, young researchers have been hosted in the foreign institutions. They are:

- PAOLO COSMO SILVESTRO, Italian PhD student hosted for a total of 6 months by CAS-RADI and NERCITA in 2015 and 2016.
- XIANFENG ZHOU, Chinese PhD student hosted for 2 weeks at CNR in July-August 2016
- QIAOYUN XIE, Chinese PhD, visiting CNR and University of Roma "La Sapienza" in June 2015

These visiting periods have been co-funded by own research funds.

9. Motivazione degli sviluppi della collaborazione negli anni successivi

(eventuali estensione ad altri paesi, collaborazioni multilaterali, contratti nazionali o internazionali)

Le motivazioni per cui si ritiene utile continuare la collaborazione sono:

- 1) Il progetto di collaborazione ha fin qui prodotto ottimi risultati scientifici, anche considerando che non sono stati assegnati fondi per la ricerca. I risultati sono dimostrati dal numero di pubblicazioni congiunte raggiunto in meno di 2 anni (l'accordo è stato operativo nel secondo semestre 2014 e le pubblicazioni elencate si riferiscono quelle consolidate alla data di presentazione di questo rapporto finale – settembre 2016);
- 2) La collaborazione in atto tra IMAA e RADi ha permesso la sottomissione di diversi progetti di ricerca congiunti sia presso enti nazionali (es. MAE, NSFC) che istituzioni internazionali (ESA). Dei progetti sottomessi uno è stato approvato (bando ESA Dragon), mentre ad oggi siamo ancora in attesa della valutazione del progetto NSFC. La prosecuzione delle attività scientifiche per il triennio 2017-2019 aumenterà la capacità di progettazione di nuove opportunità di ricerca e quindi di auto-finanziamento dei due istituti.
- 3) Inoltre, il programma scientifico proposto per il triennio successivo è incentrato alla sinergia dei dati ottici e radar per le applicazioni in agricoltura in funzione dell'avvento dei Sentinels e delle nuove missioni satellitari cinesi, così come ed all'avvento delle nuove missioni iperspettrali (2018). La prosecuzione del progetto si sviluppa nell'ambito della "Science Question" di quale è il reale impatto dei prodotti Coperincus e dei nuovi prodotti EO (sinergia radar ottico) nella stima delle produzioni agricole (incluso food security) e nella sostenibile gestione delle pratiche agricole (agrosistema). La descrizione di dettaglio degli obiettivi del prossimo progetto è presente nella proposta sottomessa.
- 4) Nel triennio successivo si intendono avviare PhD o post-doc da svolgere a cavallo dei due istituti o delle Università che partecipano al team del progetto.

9. Reasons for cooperative project developments in the following years, if any

(extension to other countries, multilateral collaboration, national or international contracts)

The reasons why it is useful to continue the partnership are:

- 1) The collaborative project has so far produced excellent scientific results, considering that were not awarded funds for research. The results are proven by the number of joint publications reached in less than two years (the agreement was operational in the second half of 2014 and the publications listed are those consolidated at the date of submission of this final report - September 2016);
- 2) The ongoing collaboration between IMAA and RADi allowed the submission of several joint research projects both at national institutions (eg. MAE, NSFC) and international institutions (ESA). One of the submitted projects were approved (Dragon ESA announcement), while today we are still waiting for the NSFC project evaluation. The continuation of scientific activities for the 2017-2019 three-year period will increase the design capacity of new research opportunities and thus of self-financing of the two institutions.
- 3) In addition, the new scientific program, submitted for 2017-2019 focuses to the synergy of optical and radar data for agricultural applications as function of the Sentinels and the advent of the new Chinese satellite missions, as well as and the advent of new hyperspectral missions (2018). The continuation of the project is carried out within the "Science Question" of what is the real impact of the Coperincus products and of the new EO products (optical radar synergy) in the estimation of crop yield (including food security issues) and sustainable agricultural management practices (agro-system). The detailed description of the objectives for the next 3 years project is present in the subject proposal
- 4) In the next three years we intend to start PhD or post-doc to be done at the turn of the institutes or the universities participating in the project team.

Stefano Pignatelli.



date: September 12, 2016

Wenjiang Huang

(signature of the Chinese project leader)
(anche fax)

TABELLA 1

1 – Dipartimento Terra e Ambiente	7 – Dipartimento Materiali e Dispositivi
2 – Dipartimento Energia e Trasporti	8 – Dipartimento Sistemi di Produzione
3 – Dipartimento Agroalimentare	9 – Dipartimento Tecnologie dell'Informazione e delle Comunicazioni
4 – Dipartimento Medicina	10 – Dipartimento Identità Culturale
5 – Dipartimento Scienze della Vita	11 – Dipartimento Patrimonio Culturale
6 – Dipartimento Progettazione Molecolare	