



**Consiglio Nazionale delle Ricerche
Progetto Finalizzato “Beni Culturali”**

ArchaeoSurvey

*Individuazione di siti e manufatti archeologici
mediante tecniche di telerilevamento integrate
con GIS e modelli multivariati di predittività*

(Unsolicited Proposal)

Roma, febbraio 2005

ArchaeoSurvey

1. Requisiti utenti e scenari applicativi

Devono essere le valenze molteplici, e notoriamente complesse, di una base conoscitiva proveniente da dati satellitari, a guidare l'impostazione di un progetto che non si limiti a quello che si potrebbe definire il primo strato, forse il più banale, di quella base. Appare infatti preponderante, allo stato attuale delle applicazioni in campo archeologico a livello mondiale, la riduttiva pratica di utilizzazione della sola "immagine" da satellite, alla stregua di una fotografia aerea della quale, per altro, si continuano ovviamente a lamentare limiti di scala e grado di definizione. Restano in tal modo sempre in ombra le potenzialità integrative e comparative del dato (e dei tematismi risultanti dall'analisi e dalla post-elaborazione del dato) satellitare cui, sostanzialmente, si dovrebbe guardare in funzione di ricerche che non si occupino soltanto dell'"oggetto", ma dei suoi rapporti con altri "oggetti", dei sistemi di questi rapporti e, soprattutto, della *contestualizzazione* di sistemi, rapporti e "oggetti". In altre parole si tratta di porre l'accento non più, o non solo, sulla "scoperta" archeologica (cioè l'arricchimento delle conoscenze archeologiche legato all'interpretazione di "tracce") quanto alla "scoperta" di linee interpretative basata su nuove possibilità di interconnessione tra dati conosciuti.

Un approccio sbilanciato sulla sola ricerca di dati "nuovi" rischia di limitare anche le categorie dell'utenza: il superamento della concezione puramente oggettuale del Bene Archeologico non risponde dunque soltanto ad un generalizzato ripensamento metodologico disciplinare ma fornisce una chiave fondamentale per garantire l'allargamento del piano progettuale su un'utenza che non sia legata solo agli aspetti della ricerca o della tutela, ma estesa alla gestione ed alla corretta pianificazione dei paesaggi storici. Non sembra casuale che, sul versante normativo, si stia assistendo al progressivo confluire (v. § "Normativa") in un unico apparato normativo dei due elementi storicamente costituenti paralleli (se non opposti) oggetti di tutela, cioè le "*cose d'interesse artistico e storico*", da un lato e, dall'altro, le cosiddette "*bellezze naturali*". Così come non può considerarsi casuale che, a livello comunitario, le direttive della Convenzione Europea del Paesaggio al proposito pongano l'"identificazione" dei paesaggi allo stesso livello della loro gestione e pianificazione e che, sul piano nazionale, nel più recente quadro normativo italiano, concertazione e coordinamento suonino ormai come parole d'ordine per Comuni, Province e Regioni, sempre più attivi coprotagonisti non solo nelle fasi dell'amministrazione, ma anche in quelle dell'indagine e della tutela dei propri 'beni' culturali.

Un esempio recente e di grande impatto, può venire dalla applicazione della recente, discussa normativa della Regione Sardegna di salvaguardia alla fascia di due chilometri di rispetto all'area costiera, che, in prospettiva, si deve intendere integrata da un'attenta opera di monitoraggio tesa a garantirne l'effettivo rispetto. Nella normativa non viene però considerato il rischio, né l'estensione del monitoraggio, sulle fasce paracostiere - immediatamente identificabili come protagoniste di una rinnovata stagione di invasione edilizia - non ostante l'acclarata caratteristica dell'insediamento storico sardo che, soprattutto (ma non solo) nel periodo pre e proto-storico, privilegia localizzazioni certamente non "marittime". In questo, come in molti altri casi, la possibilità di una costante osservazione delle micro-incidenze antropiche e naturali sui territori interessati, potrebbe offrire un importante banco di prova per un'effettiva (e socialmente utile) integrazione multidisciplinare tesa alla ricerca, alla tutela, alla gestione e, soprattutto, ad una corretta pianificazione del paesaggio storico.

1.1. - Normativa nazionale

Storicamente la produzione legislativa italiana propone la demarcazione tra due tipi di “beni” tutelati già nelle due leggi fondamentali (1° Giugno 1939, n. 1089 (sulla *tutela delle cose d’interesse artistico e storico*) e la legge 29 Giugno 1939, n. 1497 (sulla *protezione delle bellezze naturali*), demarcazione solo in parte superata nella legge 8 Agosto 1985, n. 431 (legge ‘Galasso’ sulle *disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale*) e infine unificata, ma solo a livello normativo, nel decreto legislativo 29 ottobre 1999, n. 490 ‘*Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali*’, e nel **definitivo** decreto legislativo recante il “*Codice dei beni culturali e del paesaggio*”, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137 (“Codice Urbani”), ove è comunque riproposta già nella suddivisione del testo (I *Disposizioni Generali*; II **Beni Culturali**; III **Beni Paesaggistici**; IV *Sanzioni*; V *Disposizioni transitorie, abrogazioni ed entrata in vigore*).

Stante l’ambivalenza programmatica del progetto, riguardante sia gli aspetti della ricerca che quelli della tutela dei beni archeologici, e considerata la possibilità insita nella produzione di tematismi tipicamente interdisciplinari provenienti dalle elaborazioni dei dati satellitari, nell’ambito del progetto preliminare occorrerà esaminare approfonditamente sia il quadro aggiornato di attuazione della normativa specifica, sia estendere l’esame a quegli aspetti che, dal punto di vista della tutela come da quello della ricerca, garantiscono il superamento della visione ‘oggettuale’ del bene in funzione di una sua contestualizzazione storica e ambientale, in linea con le disposizioni del testo della *Convenzione europea del paesaggio* predisposto dal Congresso dei poteri locali e regionali del Consiglio d'Europa, in collaborazione con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Ufficio Centrale per i Beni Ambientali e Paesaggistici, in occasione della Conferenza Ministeriale di Apertura alla firma della Convenzione Europea del Paesaggio (Firenze, 20 ottobre 2000).

A tale proposito si riportano di seguito i principali riferimenti riguardanti gli **aspetti concernenti l'integrazione tra tutela archeologica e gestione dei paesaggi in ambito comunitario**:

- Convenzione relativa alla conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale d'Europa (Berna, 19 settembre 1979)
- Convenzione per la salvaguardia del patrimonio architettonico d'Europa (Granada, 3 ottobre 1985)
- ICOMOS (International Council of Monuments And Sites): *Charter for the protection and management of the archaeological heritage* (1990).
- Convenzione europea per la tutela del patrimonio archeologico (rivista) (La Valletta, 16 gennaio 1992)
- Convenzione sulla biodiversità (Rio, 5 giugno 1992)
- Convenzione sulla tutela del patrimonio mondiale, culturale e naturale (Parigi, 16 novembre 1972)
- Convenzione relativa all'accesso all'informazione, alla partecipazione del pubblico al processo decisionale e all'accesso alla giustizia in materia ambientale (Aarhus, 25 giugno 1998)
- Convenzione europea del paesaggio (Firenze, 20 ottobre 2000). Con particolare riferimento all’art. 6 - Misure specifiche. B (*Formazione ed educazione*) e C (*Individuazione e valutazione*) anche in funzione dell’analisi delle pressioni modificatrici e del monitoraggio delle trasformazioni.

1.2. – Normativa Unione Europea

Esiste già un forte e chiaro contesto in cui beni culturali sono inseriti nelle normative dell’Unione Europea.

Vengono di seguito elencate referenze di trattati e direttive europee che specificano l'importanza che riveste la protezione del patrimonio culturale, e in particolare del patrimonio archeologico, e le conseguenti strategie necessarie per la sua conservazione.

Community Action Plan In the field of Cultural Heritage (Council Decision - 0.J.941C 235001)

- Article 128 of the Treaty Identifies Cultural Heritage as a priority field of action (includes both movable and fixed heritage)
- Conservation and safeguarding of Cultural Heritage of European significance
- Taking Cultural Heritage into account in regional development and job creation; tourism and environmental research

Treaty establishing the European Community (1998) Article 2,

... to promote throughout the Community a harmonious, balanced and sustainable development of economic activities, a high level of employment and of social protection, equality between man and women, sustainable and non-inflationary growth, a high degree of competitiveness and convergence of economic performance, a high level of protection and improvement of the quality of the environment, the raising of the standard of living and quality of life, and economic and social cohesion and solidarity among Member States.

Article 6,

Environmental protection requirements must be integrated into the definition and implementation of the Community policies and activities referred to in Article 3, in particular with a view to promoting sustainable development,

Article 163,

... strengthening the scientific and technological bases of Community industry and encouraging it to become more competitive at international level.

Sixth Environmental Action Programme [COM (2001) 31 final 2001/0029 (COD)]

Linking environmental sustainability and the quality of urban life: developing a comprehensive approach for EU activities on urban issues
public authorities in Member States providing data on urban environment issues on a comparable basis; work on the development of urban indicators local authorities developing and implementing the Kyoto Protocol's recommendations on Local Agenda 21 initiatives.

Sustainable Urban Development In the European Union:

A Framework for Action Com (1998) 605 final of 28.10.98

- Strengthen economic prosperity and employment in towns and cities
- Promote equality, social Inclusion and regeneration in urban areas
- Protect and improve the urban environment: towards local and global sustainability
- Contribute to good urban governance and local empowerment:
- improve the economic vitality of cities by encouraging innovation and entrepreneurship, raising of productivity and exploitation of new sources of employment to promote a polycentric, balanced urban system
- more environmental sustainable cities: avoid imposing costs of development to their immediate environment, surrounding rural areas, regions, the planet itself and future generations.
- renovation of the housing stock, measures to reduce pollution and vandalism, and the protection and improvement of buildings and open spaces in run-down areas as well as the **preservation of the cultural heritage.**
- **need to minimise and manage environmental risks** such as those posed by landslides, subsidence, earthquakes and floods, as well as technological risks such as those associated with major industrial plants and nuclear power stations.

- **resource efficiency** (optimising the use of material inputs and non renewable natural resources per unit of output) and circularity (such as the **recycling of materials, land and buildings**) to reduce environmental impacts and make cost savings"
- " ... promote **transport strategies that reduce traffic congestion** and will examine ways to improve the regulatory framework for domestic public transport".

European Spatial Development Perspective (10 May 1999)

- economic and social cohesion
- conservation and management of natural resources and **cultural heritage**
- more balanced competitiveness of the European territory:
- development of a balanced and polycentric urban system
- creation of a new rural-urban partnership
- parity of access to infrastructure and knowledge
- prudent management and sustainable development of the natural and cultural heritage.

Ambient air quality assessment and management (Council Directive-96/62/EC)

- To define and establish objectives for ambient air quality
- To avoid, prevent or reduce harmful effects on human health and the environment as a whole:
- 'Levels' on concentration and/or deposition of pollutants (gases and particles)
- "Limit values" fixed on the basis of scientific knowledge for avoiding, preventing or reducing harmful **effects** on population, **historic heritage** ...

The Clean Air for Europe (CAFE) Programme: Towards a Thematic Strategy for Air Quality [Brussels, 04.05.2001 COM(2001) 245 final]

This new initiative on air pollution recognises that air quality has improved dramatically since the days when smog sometimes made life unbearable and that improving air quality has been achieved alongside economic growth. However, persistent problems do remain and priority needs to be given to ozone and particles in the next phase of the EU's air quality policy. The CAFÉ initiative explicitly mentions cultural heritage as susceptible to threat from these key pollutants. Research effort is required if we are to understand the extent of this threat.

Environmental Impact Assessment (EIA Directive - 85/337/EEC and amended EIA Directive 97/11/EC)

The EIA procedure ensures that consequences for the environment man's health and well-being of policies, proposals and major public/private development projects (as identified in Annexes I, II and III of the directive, including motorways, airports, urban development projects, car parks, tourism and leisure projects, railways, waste disposal schemes, trade ports, etc.) are identified, assessed, interpreted and communicated before local or national authorization is given through a series of steps:

- screening (to identify projects that should be subjected to EIA)
- scoping (to identify key issues)
- consideration of alternatives (including a 'no action' alternative)
- description of the proposed development action; identification of key impacts
- prediction of impacts; evaluation and assessment of significance (of predicted impacts)
- mitigation
- public consultation and participation
- presentation of an Environmental Impact Statement (EIS)
- review

- post-decision monitoring, and
- environmental auditing.

The EIA procedure explicitly includes archaeology in its definitions and includes cultural heritage considerations among the list of potential environmental effects.

The European Soil Charter (1972)

- recognised the importance of the soil resource
- many areas relate to or have an impact on soil protection: planning and regeneration; waste disposal; agriculture; archaeology; minerals extraction
- since then, European countries have undertaken various activities to protect the soil
- a workshop, held in Bonn in December 1998, was attended by representatives from the EU member States, EU Accession Countries and Norway and Switzerland. The workshop helped to determine the current status of soil conservation and established a platform for further soil protection activities
- the first meeting of the European Soil Forum was in November 1999.

The Treaty of the European Union: Article 128:

1. The Community shall contribute to the flowering of the cultures of the Member States, while respecting their national and regional diversity and at the same time bringing the common cultural heritage to the fore.
2. Action by the Community shall be aimed at encouraging cooperation between Member States and, if necessary, supporting and supplementing their action in the following areas:
 - improvement of the knowledge and dissemination of the culture and history of the European people
 - conservation and safeguarding of cultural heritage of European significance
 - non-commercial cultural exchanges
 - artistic and literary creation, including in the audiovisual sector.
3. The Community and the Member States shall foster cooperation with third countries and the competent international organisations in the sphere of culture, in particular the Council of Europe.
4. The Community shall take cultural aspects into account in its action under other provisions of this Treaty.....

2. Stato dell'arte: siti archeologici noti e non noti

2.1. - Problematiche e metodologie di siti archeologici noti

Forse non è sufficientemente noto che il patrimonio dei siti e dei trovamenti archeologici italiani contribuisce per oltre il 30 % alla percentualizzazione delle presenze, per quanto concerne i cosiddetti Beni Culturali, nel nostro Paese, spesso citate nel rapporto tra l'Italia ed il resto del mondo secondo plausibili stime che si aggirano intorno al 40/45 % del globale. E tale percentuale sarebbe più cospicua se metodologie adeguate contribuissero ad una rapida conoscenza del patrimonio tuttora esistente sotto il terreno, in tempi sufficientemente rapidi ma comunque consoni alle moderne necessità della ricerca scientifica (cfr. capitolo successivo). Ma anche facendo riferimento solamente al noto si deve sottolineare come esista una netta sperequazione tra le diverse tematiche archeologiche finora accertate: a titolo di esempio, alle numerosissime necropoli d'ogni epoca rinvenute non fanno riscontro le relative conoscenze sui centri abitati cui esse dovevano ovviamente far riferimento.

Nel novero fanno capitolo a se' stante le antichità conservate in centri urbani che insistono su precedenti antichi, città solitamente denominate "a continuità di vita" e che in Italia costituiscono la maggioranza. In tali aree urbanizzate il noto costituisce, se possibile, una percentuale ancora più bassa rispetto a quanto ancora esistente, ed il progressivo ampliarsi delle conoscenze nei sostrati dei centri storici è dovuto quasi esclusivamente alla casualità: scavi per infrastrutture (reti di servizi, etc.), ampliamenti e cambiamenti nei piani regolatori e nelle destinazioni d'uso, trafori per percorrenze subcutanee (metropolitane, tunnel, etc.), etc. E' solo di questi ultimi anni l'esperienza dell'uso dell'informatica applicata alla cartografia catastale con l'inserimento in GIS dedicati all'archeologia di segnalatori di tipologie planimetriche indiziabili di forme antiche e dunque segnalatrici di aree da salvaguardare sia a fini vincolistici – e dunque di tutela - che nell'ottica dell' investimento rispettoso delle eredità culturali locali.

Nonostante che la metodologia della ricerca archeologica preveda l'analisi preventiva di tutta la documentazione bibliografica e d'archivio, specialmente per quanto riguarda i ritrovamenti legati ai grandi lavori pubblici successivi all'Unità d'Italia (si pensi alle trasformazioni dei suburbi per le grandi aree industrializzate o alle costruzioni delle reti stradali e ferroviarie), le conoscenze in aree non urbanizzate sono episodiche, non organiche, parziali, spesso poco utilizzabili ai fini della valorizzazione per una corretta presentazione nell'ambito del cosiddetto turismo culturale:

1. episodiche perché dal grande momento della ricerca degli ultimi due secoli, soprattutto legata al recupero delle opere d'arte oggi presenti nei musei di tutto il mondo, si è passati alle indagini del novecento che a fianco a zone cartografate nel dettaglio hanno lasciate vastissimi comprensori privi della benchè minima notizia relativa alle presenze antiche;

2. non organiche perché legate a politiche di ricerca spesso differenziate pur in aree contermini, per cui non è difficile riscontrare, nella scarsa documentazione cartografica pubblicata (in Italia manca una Cartografia Archeologica Nazionale, ad es. sul modello geosismico), che alcune tavolette IGM indicano solo presenze necropolari ed altre tavolette IGM riportano solo presenza insediative;

3. parziali perché, nella massima parte dei casi, i trovamenti derivati sia da ricerche ufficiali programmate sia da scoperte casuali sono stati indagati solo parzialmente e spesso rappresentano pericolosi inviti all'attività di recupero clandestina (è tuttora enorme il mercato internazionale rifornito dalle provenienze italiane);

4. non utilizzabili ai fini di una organizzazione aperta all'investimento turistico e dunque predisposta per un ritorno economico, perchè non sufficientemente conosciute nell'aspetto integrale e soprattutto non servite dalle necessarie infrastrutture, anch'esse strettamente

correlate alla pianificazione conoscitiva dei comprensori espositivi (Parchi, sistemi musealizzati, etc.)

Alla luce delle trasformazioni che gli interventi sul territorio causano in tempi rapidissimi con il conseguente depauperamento irreversibile del nostro patrimonio archeologico se ne deve concludere che è questo un momento indifferibile per organizzare – e divulgare in modo sistematico - la metodologia della conoscenza dei documenti monumentali nella loro precisa situazione topografica: del resto quello della formazione avanzata è un impegno che l'Italia ha assunto, specie nei riguardi dei nuovi partners europei, durante il semestre di guida italiano nel corso dell'incontro sui " Territorial information systems for the conservation, preservation and management of Cultural Heritage" svoltosi a Napoli il 23/24 ottobre 2003. I progetti di ricerca in fase di programmazione non debbono solo tendere ad indagini metodologicamente valide ma anche ad una linea di produzione d'informazioni trasferibili in campo europeo: essi devono altresì fornire un prodotto suscettibile di ritorni economici, in ogni modo basato su organiche conoscenze dell'esistente noto, che si caposaldino sul terreno indirizzando le indagini pilota verso aree ancora mute negli aspetti culturali, con casistiche di taratura strumentale che possano chiarire la validità nell'uso del documento satellitare in aree a diverso aspetto geomorfologico e con diverse connotazione e tradizione culturale

Risulta sempre maggiore ed impellente la necessità di operare per mettere in atto metodologie e strumenti finalizzati, da un lato, ad un reale accrescimento della conoscenza del patrimonio archeologico e monumentale, dall'altro, al monitoraggio delle evidenze già note. Si tratta di una necessità di primaria importanza sia per studi rivolti alla ricostruzione storico-archeologica sia, soprattutto, per attivare adeguate politiche di tutela, di controllo e di gestione, fondamentali per la valorizzazione del patrimonio culturale e per favorire la sua fruizione da parte della comunità.

Importante, a tale proposito, la ricerca topografica volta allo studio di singoli abitati e complessi archeologico-monumentali o effettuata su ambiti territoriali a diversa scala (comunale, provinciale, regionale) e finalizzata alla individuazione di nuove evidenze archeologiche, alla ricostruzione del popolamento antico di un determinato contesto ed all'analisi del suo sviluppo storico. Ne derivano carte archeologiche, sempre più spesso in formato numerico ed inserite in Sistemi Informativi Territoriali (SIT), che, oltre ad essere funzionali alla la ricerca storico-archeologica consentono la compilazione di vere e proprie "mappe del rischio archeologico" di un'area, fondamentali per un incremento della conoscenza del patrimonio culturale da tutelare, gestire, valorizzare e rendere fruibile all'interno di corrette politiche di pianificazione territoriale, in cui la conservazione delle memorie storiche, archeologiche, monumentali ed ambientali si integri con le esigenze dello sviluppo; le aree archeologiche ed i monumenti antichi si prestano infatti ad interventi sia finalizzati alla conservazione che a promuovere lo sviluppo del turismo culturale, in un'ottica che riesca a comporre i conflitti fra tutela e fruizione.

In questo tipo di ricerche, ai tradizionali ed irrinunciabili metodi della ricognizione sistematica e diretta dei contesti di studio, unita allo spoglio delle fonti bibliografiche e d'archivio, il contributo più consistente dal settore delle immagini aerorilevate, tradizionali o digitali, è fornito dalle strisciate aerofotografiche stereoscopiche planimetriche, sia storiche che recenti ed in misura minore da riprese occasionali prospettiche, anche in questo caso storiche e recenti. Riprese aereofotografiche sia verticali che oblique vengono generalmente impiegate per studi sistematici a media e grande scala di fenomeni e processi sia naturali che storico-archeologici; le riprese aeree recenti trovano impiego ovviamente nella lettura dello stato attuale e soprattutto nella realizzazione di cartografie oggi spesso numeriche e in sempre meno rari casi finalizzate alla ricerca archeologica; le foto aeree storiche, in Italia ed in genere in Europa correntemente impiegate dagli anni Trenta del '900, con grande sviluppo e copertura nella fase bellica, costituiscono invece uno strumento fondamentale per la lettura dello sviluppo del territorio e, specialmente quelle precedenti

l'uso intensivo dei mezzi meccanici in agricoltura, conservano spesso le tracce visibili e misurabili di strutture antiche interrate.

Negli ultimi anni, anche nelle ricerche topografiche a media e grande scala, sta prendendo sempre più piede l'utilizzo del telerilevamento da satellite, soprattutto grazie alla possibilità di disporre sul mercato di immagini multispettrali e pancromatiche con alte risoluzioni spaziali, spettrali, radiometriche e temporali; basti pensare alle esperienze maturate dal nostro gruppo di ricerca nel 2003 e nel 2004 (ed ancora in corso) a Hierapolis di Frigia (Denizli, Turchia), dove immagini pancromatiche ad elevatissima risoluzione geometrica (cm 64), mosaicate, georeferenziate e corrette nelle loro deformazioni, vengono utilizzate come fondamentale supporto per le indagini archeologiche svolte nell'area urbana e nel territorio della città.

Il sensore SAR (*Synthetic Aperture Radar*) può offrire un importante contributo a questo tipo di ricerche, costituendo uno strumento potenzialmente di grande interesse per lo studio ed il monitoraggio dei paesaggi antichi. Infatti, i dati radar presentano alcuni vantaggi molto interessanti per la ricerca archeologica, sia legata alla scoperta di testimonianze antiche che alla tutela di siti conosciuti, come la loro alta risoluzione e l'alta frequenza di rivisitazione, la possibilità di ripresa in qualsiasi condizione atmosferica e di notte, il buon potere di penetrazione della copertura vegetale e dei terreni aridi e sabbiosi, la possibilità di effettuare elaborazioni interferometriche, di creare DTM, di monitorare territori in movimento. Aree test dove applicare alle indagini archeologiche le possibilità offerte dai sistemi di telerilevamento a microonde, ed in particolare dai radar ad apertura sintetica (SAR), anche sviluppando un sistema integrato ottico e radar, possono essere individuate nell'Italia centrale e meridionale (in particolare, nel Lazio e nella Puglia) ed in Turchia: tutti ambiti territoriali in cui già esistono stretti rapporti di collaborazione con gli organi statali preposti alla salvaguardia del patrimonio archeologico e monumentale, in particolare, il Ministero per i Beni Culturali con i suoi organi distaccati (Soprintendenze Archeologiche ed Architettoniche) ed il Ministero della Cultura e del Turismo della Repubblica di Turchia, con il quale fattive collaborazioni sono state attivate nell'ambito della Missione Archeologica Italiana a Hierapolis di Frigia. In queste zone, nel settore della ricerca archeologico-topografica su contesti urbani e territoriali, finalizzata alla ricostruzione del popolamento antico e delle dinamiche insediative in un'ottica diacronica, le riprese satellitari possono essere utilizzate sia per la scoperta di nuove evidenze archeologiche e monumentali, che per la contestualizzazione di complessi già noti, integrando i dati ambientali, geomorfologici, archeologici e paesaggistici per la ricostruzione del rapporto tra uomo ed ambiente.

Le indagini vedranno quindi affiancato ai metodi tradizionali della ricerca topografica l'uso del telerilevamento da satellite, che andrà ad integrare l'apporto della fotografia aerea. Ciò, innanzitutto, nella individuazione di nuove presenze, che arricchiscano la conoscenza del patrimonio archeologico e monumentale e che contribuiscano all'interpretazione ed alla documentazione dei siti già conosciuti: ciò con la fotointerpretazione, con la possibilità dei sensori SAR di identificare strutture ed elementi antichi sepolti in terreni aridi o coperti dalla vegetazione, con le analisi multispettrali, considerando la differente natura delle informazioni ottenibili nelle varie bande dello spettro elettromagnetico (ed utilizzando software per la classificazione delle immagini). Si intende analizzare e valutare l'informazione proveniente dal telerilevamento sia per la sua capacità di evidenziare, mediante anomalie, le emergenze archeologiche, sia per il contributo offerto nel caratterizzare il contesto ambientale in cui tali presenze si collocano, soprattutto mediante immagini a media risoluzione. Proprio l'ottima risoluzione spaziale è un requisito fondamentale per il pieno utilizzo delle riprese telerilevate in ambito archeologico; se quelle a media risoluzione possono aiutare nella contestualizzazione di insediamenti o complessi archeologici e nello studio degli elementi antichi di grandi dimensioni (divisioni agrarie, viabilità, etc.) e nella comprensione dei paesaggi antichi, solo

quelle ad alta risoluzione portano un fattivo contributo nella scoperta di nuovi siti o manufatti archeologici. Particolare attenzione sarà poi dedicata alla verifica al suolo degli elementi, delle anomalie e delle tracce riscontrate nelle riprese telerilevate sia da aereo che da satellite.

Utilizzando procedure integrate di lettura di immagini in rapporto alle necessarie attività sul terreno si produrranno strumenti utilizzabili dalle amministrazioni competenti per programmare interventi gestionali sul territorio: Sistemi Informativi Territoriali (SIT) per la gestione, l'analisi, l'elaborazione e la visualizzazione di immagini telerivate di vario tipo, riprese da piattaforme aeree e satellitari, integrate con tutte le altre informazioni grafiche, cartografiche (geologiche, pedologiche, archeologiche, topografiche, erofotogrammetriche) ed alfanumeriche raccolte durante le ricerche nelle aree campione. Si realizzeranno inoltre carte archeologiche numeriche, carte di rischio archeologico, cartografie storico-archeologiche, ricostruzioni tridimensionali del territorio e di complessi antichi e sistemi di realtà virtuale appositamente dedicati alla fruizione tridimensionale spaziale dei dati e metadati raccolti ed alla visualizzazione real time del paesaggio archeologico.

In situazioni nelle quali sussistono la difficoltà o l'impossibilità di accedere a fotografie aeree o cartografie aggiornate o adeguatamente dettagliate (è il caso, per esempio, delle ricerche in Turchia, da effettuare nelle valli del Lykos e del Meandro e da estendere ad altri territori e città dell'Anatolia), le riprese satellitari possono essere trasformate in "spaziocarte", con mosaicatura, georeferenziazione e correzione delle deformazioni geometriche e radiometriche, con la possibilità di ortorettificazioni su Modelli Digitali del Terreno. Possono inoltre essere utilizzate per la realizzazione di cartografie a livelli sempre di maggiore dettaglio e per l'aggiornamento della cartografia esistente, attraverso la possibilità di ottenere una visione stereoscopica mediante visione nadirale ed obliqua sulla stessa traccia (con ritardo di ripresa tra le due immagini di pochi secondi); tali applicazioni cartografiche non andranno effettuate solo con georeferenziazione delle immagini satellitari e vettorializzazione degli elementi, ma anche con l'utilizzo della fotogrammetria, che consente livelli di precisione di gran lunga più elevati.

Tra i diversi campi di utilizzo, inoltre, alcune applicazioni fanno intuire buone possibilità nella ricerca archeologica subacquea, in particolare per quanto riguarda i siti costieri sommersi ed in genere per la lettura di resti archeologici posti a modesta profondità. Un ulteriore obiettivo riguarda il monitoraggio delle aree e dei complessi archeologici e monumentali già noti. La possibilità di aggiornamenti continui consente innanzitutto di tenere sotto controllo fenomeni di degrado e di rischio, utilizzando anche immagini a media risoluzione:

- valutazione della stabilità dei suoli su cui sorgono siti archeologici e controllo della stabilità di singoli monumenti o rovine di dimensioni sufficientemente grandi attraverso l'impiego di tecniche interferometriche, grazie alle quali è possibile misurare spostamenti del suolo con accuratezza anche inferiore al centimetro (si può pensare per esempio ad applicazioni in contesti interessati dal bradisismo e ricchissimi di evidenze archeologiche, come la costa flegrea da Pozzuoli a Miseno, oppure in aree soggette a frane);
- controllo costante e continuo dell'attività degli scavatori clandestini in grandi città antiche particolarmente interessate da tali fenomeni (Veio, Cerveteri, Tarquinia, Vulci nel Lazio, Arpi, Salaria, settori a rischio del Tavoliere in Puglia), dove L'Università di Lecce ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche operano in stretta collaborazione con le Soprintendenze ai Beni Archeologici e con il Nucleo Tutela Patrimonio Culturale dei Carabinieri;
- controllo costante e continuo dell'estendersi dell'urbanizzazione o di infrastrutture in aree archeologiche.

- Controllo delle attività agricole e di movimento terra, spesso purtroppo assai veloci con danni irreparabili, che devono essere compatibili con le presenze archeologiche nel sottosuolo e con le prescrizioni dei vincoli archeologici.

La possibilità di disporre di un aggiornamento continuo delle immagini, oltre ad essere ovviamente fondamentale per il monitoraggio del patrimonio culturale ed utilizzabile anche ai fini dell'aggiornamento cartografico, consentirà di disporre di una grande quantità di immagini di insediamenti antichi non scavati o indagati archeologicamente solo in modo parziale (per esempio, Veio, subito a nord di Roma), ripresi in diverse condizioni di luce, di utilizzo dei suoli e di visibilità di superficie, portando ad un accrescimento della quantità di dati e tracce disponibili, fondamentali per lo studio della loro articolazione interna.

2.2. – Hierapolis di Frigia: utilizzo di immagini satellitari per la conoscenza dell'area urbana e del territorio

Nell'ambito della Missione Archeologica Italiana a *Hierapolis* di Frigia, le attività di ricerca svolte dall'Istituto CNR per i Beni Archeologici e Monumentali di Lecce (IBAM), in collaborazione con i Laboratori di Informatica per l'Archeologia e di Topografia Antica dell'Università di Lecce e con l'Ufficio CNR "Sviluppo e applicazioni dei Sistemi Informativi Territoriali" (ex Dipartimento per i Rapporti con le Regioni), hanno visto, nelle campagne 2003 e 2004, l'utilizzo di riprese telerilevate dal satellite americano QuickBird 2, in orbita a 450 km dalla Terra: immagini pancromatiche caratterizzate da una risoluzione geometrica al suolo di cm 64 e da una risoluzione radiometrica di 11 bits (2048 livelli). L'eccezionale risoluzione al suolo di tali riprese, tra i valori più elevati attualmente disponibili sul mercato, che le rende paragonabili a foto aeree all'incirca in scala 1:12.500, ha consentito di supplire alla difficoltà di reperire localmente immagini aeree e ha permesso di disporre di validi riscontri e confronti per le attività di scavo e di ricerca svolte sul terreno: le riprese, da un lato, hanno garantito una visione planimetrica complessiva dell'area urbana, di cui erano disponibili solo vedute prospettiche o riprese a bassa quota scattate da palloni frenati, dall'altro, hanno anche permesso analisi di dettaglio su singoli complessi monumentali.

La lettura e l'interpretazione delle riprese telerilevate, accompagnate dal continuo riscontro sul terreno delle tracce visibili dal satellite, hanno fornito un fondamentale contributo alle ricognizioni condotte all'interno della città, offrendo dati eccezionali per la ricostruzione dell'impianto urbano e indirizzando anche le attività di scavo. Hanno consentito, tra l'altro, la scoperta di un'importantissima strada processionale di età bizantina, che dal centro dell'area urbana conduceva al *Martyrion* di San Filippo, situato subito al di fuori della cinta muraria costruita agli inizi del V sec. d.C.; soprattutto nella parte nord-occidentale della città, sono risultate infatti molto evidenti, nella visione dall'alto (integrata anche da riprese a bassa quota effettuate con il pallone frenato), le tracce della maglia ortogonale del tessuto viario (generalmente costituite da accumuli di pietre posti sui lastricati stradali), in cui l'asse viario di V sec. d.C. costituisce l'unica variazione rilevante di epoca bizantina.

Le riprese satellitari sono state anche utilizzate come base cartografica per le ricognizioni condotte a partire dal 2004 nell'area urbana e nell'immediato suburbio di *Hierapolis*, andando a supplire all'assenza di cartografie di dettaglio e aggiornate. Le immagini telerilevate, infatti, mosaicate e corrette nelle deformazioni geometriche e radiometriche, sono state georeferenziate su una cartografia turca in scala 1:25.000, realizzata nei primi anni Settanta; dalle riprese satellitari (risalenti al 2002), quindi, si è prodotta una "spaziocarta", in cui l'errore quadratico medio è nelle tolleranze di una carta in scala 1:10.000, che costituisce un supporto fondamentale per le attività di ricognizione che nel 2005 si estenderanno anche al territorio più distante dalla città, al fine di realizzarne la carta archeologica. L'immagine satellitare, dunque, geometricamente e

radiometricamente corretta, costituisce la base per l'esplorazione sistematica del terreno e per il posizionamento delle singole evidenze archeologiche individuate.

2.3. – Problematiche e metodologie di siti archeologici non noti

La conoscenza del territorio italiano, che può dirsi "a pelle di leopardo" per quanto riguarda i documenti archeologici, obbliga ad un allargamento della metodologia ricognitiva che parta soprattutto dalle aree note, con la conseguente esportazione delle informazioni tipologiche nelle zone contermini. Ciò significa la creazione di modelli applicativi legati alle diverse tipologie archeologiche attese e dunque la possibilità di creare parametri che pilotino la fase della ricerca attiva (sul terreno) e quella della acquisizione preventiva delle informazioni dirette (Archivi delle Soprintendenze, Archivi pubblici e privati, Collezioni georeferenziate, etc.) e indirette (informazioni derivanti da lavori pubblici, ritrovamenti casuali purchè localizzati, etc.). Risulta pertanto ovvia, secondo una tale metodologia integrata, l'indifferibile necessità di una acquisizione preliminare di tutte le informazioni relative alle aree in cui si svolgeranno le indagini a tappeto, dalle realtà cartografiche (vari tipi di cartografie tematiche) a quelle derivante da foto aeree di vecchie strisciate o di nuove levate, per finire alle letture strumentali satellitari o terrestri ormai entrate negli usi dell'archeologia operativa.

Nel modello informativo relativo alla ricerca sul terreno risulta poi determinante la conoscenza dei significati storico-culturali areali. Acquisire nuovi dati con l'indagine sul territorio prevede approcci differenziati se si tratti ad es. di aree con insediamenti di tipo collinare (Italia del Nord-Est, del Centro appenninico, del Sud corrispondente alle aree sannitiche, dell'interno insulare, etc.) ovvero con pianificati sistemi di aggregazione di pianura (aree padane, delta fluviali, pianure costiere tirreniche o mesoadriatiche, aree alluvionali dell'arco ionico o della Puglia garganica, etc.). Né minor significato avrà nell'inserimento in GIS archeologici a valenza topografica la predisposizione di modelli stradali sia di attraversamento dell'Italia repubblicana (tracce transcollinari con calcolo delle pendenze) sia di diffusione nell'Italia imperiale (percorsi di fondovalle o comunque legati allo sviluppo economico, con ricostruzione delle antiche geomorfologie). Parimenti determinante sarà l'informazione pertinente alle culture preromane per quanto riguarda i sistemi difensivi o le tradizioni necropolari (tombe monumentali, sepolcreti terragni o rupestri, etc.) e per quanto concerne la gravitazione costiera o paralitoranea (attracchi di cabotaggio spesso trasformati in porti nell'età romana, insediamenti di transito e di controllo sia fluviale che marittimo, etc.). Il quadro dovrà essere ben completato dall'approfondimento degli schemi insediativi romani (nei diversi periodi da quello dell'espansionismo a quello dello sviluppo produttivo d'età imperiale) con particolare riguardo alle forme della programmazione territoriale che tanta parte oggi hanno nel paesaggio italiano (centuriazioni e ripartizione agraria geometrizzata). Non sfugge dunque come il paniere conoscitivo che sottende all'indagine sul terreno partendo obbligatoriamente dal noto si sviluppi su linee metodologiche ben precise per tempi e modalità, in linea con l'ormai lunga tradizione di studi che pone l'Italia in posizione di avanguardia nel contesto europeo.

Un progetto di prototipo dovrebbe dunque basarsi su un'area sufficientemente ampia per poter acquisire informazioni multispettrali sia su un piano culturale (tipologie archeologiche) sia su quello tecnologico (informazioni terrestri e satellitari) da inserire in un GIS cui partecipino specialisti di varia formazione a copertura delle funzioni (per quanto di competenza a questo settore del presente indice) storico-archeologica, geognostica, fisico-chimica, agrobotanica, etc. Per una tale area campione, da privilegiare secondo una scelta geografica unitaria rispetto ad esemplificazioni variamente dislocate, a titolo esemplificativo e per un parametro dimensionale si potrebbe pensare al comprensorio centro/sud-campano, lucano vulturino, nord-pugliese ovvero a quello sud-etrusco, sabino,

laziale/tiberino e abruzzese occidentale, o anche a quello nord-umbro, emiliano/padano, veneto meridionale, etc. Il criterio dovrebbe comunque partire dalla scelta di un'area sufficientemente nota per poter tarare le tecnologie applicate alla ricerca, comunque già studiata per poter creare i modelli archeologici applicabili alle aree da indagare. Da privilegiare sarebbe, inoltre, un'area già soggetta a vasti interventi di pianificazione recente non basata su specifiche conoscenze progettuali e dunque con manifeste esemplificazioni di progressive perdite documentarie e patrimoniali. In tale ottica non sfugge come la ricerca prototipale dovrebbe porsi un trend di monitoraggio con precisi prodotti attesi da concordare con gli utenti/committenti dell'iniziativa .

3. Stato dell'arte: Earth Observation ottico

3.1. - Obiettivo

La conoscenza del patrimonio culturale di un territorio, comprendente non solo le risorse archeologiche note, ma anche quelle non ancora individuate, rappresenta una necessità di primaria importanza sia per quanto riguarda la loro tutela mediante adeguate politiche di controllo e gestione, che di valorizzazione e quindi di fruizione da parte della comunità. L'individuazione di siti e manufatti di interesse archeologico e, di conseguenza, la compilazione di mappe di "previsione o rischio archeologico" relativamente a vaste estensioni di territorio quali quelle a scala provinciale e/o regionale, apre agli studiosi del settore nuove prospettive di analisi e di ricostruzione storico-archeologica e quindi della sua valorizzazione culturale, importante per la valorizzazione di un territorio. I metodi tradizionali di investigazione volti all'individuazione dei siti archeologici ancora sconosciuti trovano, d'altra parte, la loro principale limitazione nei costi e nei tempi necessari per effettuare il rilevamento di aree molto estese, nel caso si operi senza una plausibile indicazione delle aree a maggiore probabilità di insediamento. Ne consegue quindi l'utilità di sviluppare e mettere a punto metodologie di indagine volte alla valutazione della predisposizione di un luogo alla presenza di un insediamento umano del passato, in modo da determinare punto per punto la "suscettibilità" del territorio all'insediamento e la probabilità di presenza di un sito sconosciuto. La compilazione di tali mappe di "predittività" della presenza di siti archeologici, consente quindi la definizione di opportune strategie di indagine e verifiche sul campo che accertino l'effettiva presenza di tracce del passato e la compilazione di mappe della realtà archeologica.

Oltre ai metodi standard di esplorazione del terreno per l'identificazione di siti di interesse archeologico, l'unica informazione telerilevata effettivamente impiegata al giorno d'oggi, è fornita dalla foto aerea tradizionale. Riprese aereofotografiche sia verticali che oblique, vengono generalmente utilizzate per studi sistematici a media e grande scala di fenomeni e processi sia naturali (forme del rilievo, natura del suolo, processi di instabilità, ecc.), che storico-archeologici. Ad oggi, la ricerca archeologica sul territorio si è avvalsa quasi esclusivamente di fotografie aeree recenti ma soprattutto storiche, quale strumento fondamentale per la conoscenza, la valorizzazione, la tutela e la gestione dei beni culturali, nel settore storico, archeologico, monumentale ed ambientale.

Non altrettanto sviluppate, e tantomeno operative, appaiono le metodologie basate sull'impiego del telerilevamento ambientale da satellite e da aereo (satelliti, scanner multispettrali, iperspettrali, sensori a microonde, ecc.), e sulle tecniche di elaborazione numerica delle immagini telerilevate (multispettrale e multitemporale, *data fusion*, analisi contestuale, ecc.) anche se si ricorre spesso a metodi, tecniche e strumenti resi disponibili dal progresso scientifico per la contestualizzazione di siti noti o per la ricerca di siti nuovi nell'ambito della "*landscape archaeology*". In particolare, hanno trovato applicazione il telerilevamento per la raccolta delle informazioni di base sul contesto e/o sui siti stessi ed i Sistemi Informativi Geografici (GIS) per la gestione, analisi, elaborazione e visualizzazione delle informazioni raccolte. Più raramente sono stati utilizzati modelli multivariati (statistici o meno) per l'analisi dei dati e per la costruzione di modelli predittivi o esplicativi. Appare in ogni caso promettente il fatto che, in situazioni difficili dal punto di vista cartografico e della documentazione aerea, si possa ricorrere ad immagini satellitari per usi a vari livelli di definizione, ma soprattutto per letture di macroscale.

Non si conoscono invece formulazioni e applicazioni di sistemi conoscitivi complessi basati sull'uso *integrato* di tutti gli "*strumenti*" menzionati sopra. Similmente al caso delle realtà archeologiche non ancora scoperte, anche nel caso delle risorse culturali conosciute, le tecnologie di telerilevamento da aereo e soprattutto da satellite non sono impiegate né per scopi di caratterizzazione dei siti né per attività di monitoraggio periodico della realtà ambientale e del contesto archeologico con lo scopo di evidenziare eventuali cambiamenti

delle zone protette, indotti da cause naturali o antropiche. Anche in questo settore, il telerilevamento EO ottico non risulta a tutt'oggi adeguatamente valutato ed utilizzato ed inoltre non sono conosciuti neanche casi in cui l'informazione telerilevata venga utilizzata in maniera sistematica a livello operativo.

L'obiettivo è pertanto:

Definizione del contributo potenziale ed applicativo che i dati EO ottico da satellite e da aereo possono dare in base ai requisiti utente ed agli scenari applicativi definiti nell'ambito della modellistica e delle metodologie di indagine, conoscenza e gestione delle risorse archeologiche.

3.2. - Descrizione

Il recente sviluppo tecnologico dell'ultima generazione dei sensori di telerilevamento da aereo e soprattutto da satellite, ha portato alla realizzazione di strumenti in grado di acquisire informazioni del territorio con risoluzioni spaziali, spettrali, radiometriche e temporali molto elevate, a tutt'oggi poco utilizzate nell'ambito della archeologia. Le immagini satellitari a definizione sempre più elevata, potranno trovare sempre maggiore possibilità di applicazione in questo tipo di indagini territoriali, andando ad affiancare ed in qualche modo ad integrare l'insostituibile apporto della fotografia aerea. Tra i contributi principali che può offrire la ripresa da satellite, oltre a ciò che già è stato evidenziato, si sottolinea la possibilità di disporre di un aggiornamento continuo di contesti specifici, fondamentale non solo per il monitoraggio militare e civile ma anche del patrimonio culturale, utilizzabile anche per scopi di aggiornamento cartografico. Uno sviluppo prevedibile riguarda la realizzazione e la messa a punto delle specifiche funzionali delle diverse bande rilevate. In questo settore, ai tradizionali rilevamenti satellitari, vanno affiancate le riprese da sensori di ultima generazione sia multispettrali che iperspettrali a vari livelli di risoluzione spaziale.

In particolare è necessario evidenziare le potenzialità informative del dato EO ottico in relazione allo scenario archeologico ed alle metodologie di indagine. Saranno valutate le attuali capacità di identificare e/o stimare caratteristiche e variabili geofisico-ambientali di valido impiego nel contesto della modellistica di indagine archeologica, come per esempio la modellistica predittiva afferente al settore della *landscape archaeology*. Per tale scopo è opportuno considerare in particolare le caratteristiche dei sensori multispettrali, ma soprattutto iperspettrali di ultima generazione. Parimenti saranno valutate le potenzialità del dato EO ottico acquisito, spesso in modalità stereoscopica, da sensori satellitari ad altissima risoluzione spaziale (< 1m), ad evidenziare ed estrarre particolari morfologici che caratterizzino anomalie e/o aspetti di regolarità nel contesto ambientale, quali indicatori della presenza di realtà archeologiche sepolte. Oltre ad informazioni morfologiche, con dettaglio sempre più elevato e grande scala, è necessario considerare le caratteristiche dei dati EO ottico in relazione alle tecniche stereo-fotogrammetriche tradizionali ed all'impiego della foto aerea tradizionale, sia per scopi di fotointerpretazione che al fine della generazione di Modelli Digitali del Terreno ad elevata precisione plano-altimetrica.

Nello scenario delle possibili applicazioni del dato EO alle problematiche archeologiche, è opportuno ricordare anche la capacità delle attuali tecnologie di telerilevamento di rilevare informazioni di aree estese di territorio periodicamente, ad intervalli di tempo per lo più regolari. Tale caratteristica trova una potenziale ricaduta, sia nell'ambito della gestione dei siti archeologici conosciuti per scopi di monitoraggio e controllo, sia nel contesto delle metodologie di indagine archeologica basate principalmente sull'analisi e la ricostruzione storica di un territorio e sulle ipotesi di esistenza di siti archeologici non ancora scoperti; in questo caso, analisi ed elaborazioni di immagini EO ottico sia multi- che iper-spettrali e spesso con metodologie di elaborazione di tipo multitemporale, possono essere di notevole ausilio a suffragare o smentire la validità delle ipotesi, sulla base di evidenze geomorfologiche e/o geofisiche ambientali e di opportuni

modelli di indagine archeologica. Nella valutazione dello scenario del telerilevamento EO ottico da aereo e da satellite saranno quindi definiti, come conseguenza dello studio, sia le potenzialità che i limiti operativi nonché le caratteristiche auspicabili per un migliore impiego a livello operativo delle tecnologie e dei dati nel settore archeologico.

3.3. – Risultati attesi

I risultati di questa attività del progetto sono molteplici e contribuiscono a definire sia lo scenario tecnologico EO ottico potenzialmente trasferibile e/o applicabile nell'ambito del settore archeologico, sia ad identificare i limiti fondamentali delle attuali tecnologie EO ottico in relazione ai requisiti ed agli scenari del settore applicativo in questione. Come conseguenza dovranno anche essere identificate le attività di ricerca e di sviluppo necessarie per ottimizzare lo sfruttamento delle potenzialità informative dei dati EO ottico. In particolare:

- Definizione dei sensori e dei prodotti EO ottico attuali e di futuro lancio, con caratteristiche adeguate al loro impiego nell'ambito di metodologie di indagine e monitoraggio del patrimonio culturale archeologico.
- Definizione dei metodi e delle tecniche di elaborazione adatte a fornire informazioni derivate dai dati EO utili a soddisfare i requisiti utente nell'ambito dei metodi di indagine e di monitoraggio del patrimonio archeologico.
- Valutazione dei *limiti informativi* e/o operativi dello scenario tecnologico EO ai fini dell'impiego dei dati EO ottico nel contesto delle problematiche archeologiche.
- Identificazione delle *caratteristiche auspicabili* dei sensori e dei dati EO al fine del loro impiego ottimale al settore del patrimonio culturale archeologico.

4. Telerilevamento integrato con GIS e modelli multivariati di predittività

4.1. – Obiettivo

Come già indicato nel precedente paragrafo, l'analisi di un territorio, come contenitore delle testimonianze del passato, ai fini della conoscenza del patrimonio culturale in esso presente, intendendo con ciò non solo le risorse storico-archeologiche note ma anche quelle non ancora individuate, rappresenta un passaggio di primaria importanza. La localizzazione di siti e manufatti di interesse archeologico, la loro contestualizzazione sul territorio su cui insistono e, di conseguenza, la compilazione di mappe del "rischio archeologico" relativamente a vaste estensioni di territorio quali quelle a scala provinciale e/o regionale, aprono agli studiosi del settore nuove prospettive di analisi e di ricostruzione storico-archeologica e quindi della sua valorizzazione culturale, importante per la valorizzazione di un territorio. Oltre ai metodi standard di esplorazione del terreno per l'identificazione di siti di interesse archeologico, basato sulla lettura ed interpretazione delle foto aeree tradizionali, ottenute con riprese aereofotografiche sia verticali che oblique, risulta necessario anche lo sviluppo operativo delle metodologie basate sull'impiego del telerilevamento ambientale da satellite e da aereo (satelliti, scanner multispettrali, ecc.), e delle tecniche di elaborazione numerica delle immagini telerilevate (analisi multispettrale e multitemporale, *data fusion*, analisi contestuale, ecc.).

Diverso il panorama offerto dagli altri paesi europei, con particolare riguardo all'Inghilterra, ed agli Stati Uniti. Qui, nell'ambito della "*landscape archaeology*", si ricorre spesso a metodi, tecniche e strumenti resi disponibili dal progresso scientifico per la contestualizzazione di siti noti o per la ricerca di siti nuovi. In particolare, hanno trovato applicazione il telerilevamento per la raccolta delle informazioni di base sul contesto e/o sui siti stessi ed i Sistemi Informativi Geografici (GIS) per la gestione, analisi, elaborazione e visualizzazione delle informazioni raccolte. Più raramente sono stati utilizzati modelli multivariati (statistici o meno) per l'analisi dei dati e per la costruzione di modelli predittivi o esplicativi. Non si conoscono invece formulazioni e applicazioni di sistemi conoscitivi complessi basati sull'uso *integrato* di tutti gli "*strumenti*" menzionati sopra. Il recente sviluppo tecnologico dell'ultima generazione dei sensori di telerilevamento da aereo e soprattutto da satellite, ha portato alla realizzazione di strumenti in grado di acquisire informazioni del territorio con risoluzioni spaziali, spettrali, radiometriche e temporali molto elevate, a tutt'oggi poco utilizzate nell'ambito della archeologia. In conseguenza delle suddette considerazioni, l'obiettivo della proposta consiste nella progettazione e realizzazione di un sistema basato sull'uso integrato delle tecniche di telerilevamento, DTM, GIS e modelli statistici multivariati, volto ad evidenziare il rapporto tra contesto ambientale e siti archeologici, che permetta quindi da un lato di "spiegare" la localizzazione dei siti già noti e dall'altro di "prevedere" la localizzazione di siti ancora sconosciuti.

In tale ambito sarà necessario valutare le caratteristiche spaziali, spettrali e temporali degli attuali sensori di telerilevamento da satellite di ultima generazione, sia a media che ad altissima risoluzione, ai fini della caratterizzazione del contesto ambientale e dell'individuazione di siti e manufatti archeologici mediante modelli di "predittività". A tale scopo, si intende analizzare e valutare l'informazione di telerilevamento non tanto in base alla sua capacità di evidenziare le emergenze archeologiche, quanto a contribuire a caratterizzare il contesto ambientale in cui tali emergenze si collocano.

Le possibili ricadute sono:

- sul piano *teorico-metodologico*, definizione e sperimentazione delle metodologie per l'impiego ottimale dei diversi tipi di dati telerilevati ai fini dell'individuazione, descrizione e contestualizzazione delle risorse archeologiche;

- sul *piano applicativo*, messa a punto e sperimentazione di un *sistema* che porti alla predizione del patrimonio archeologico di un territorio, mediante l'utilizzo integrato dell'informazione telerilevata con dati ausiliari, e realizzazione del censimento delle risorse archeologiche comprese nelle aree test.

4.2. - Descrizione

E' comunemente riconosciuto che la distribuzione spaziale dei siti archeologici è ampiamente dipendente dalle caratteristiche ambientali del territorio. In conseguenza di ciò, negli ultimi anni molti studi sono stati finalizzati alla identificazione dei fattori ambientali più significativi a caratterizzare il contesto ambientale e quindi più utili nel predire la posizione di siti archeologici sconosciuti mediante modelli statistici. Anche se l'importanza di alcuni fattori può variare in funzione della situazione politica, sociale ed economica, alcuni sembrano essere più o meno comuni a tutti i periodi storici e le epoche. Quindi, l'individuazione di un nuovo sito di interesse archeologico può essere conseguito correlando le caratteristiche ambientali con la presenza dell'uomo nel passato, con lo scopo di determinare le aree più favorevoli ad un possibile insediamento da parte dell'uomo e quindi focalizzando le campagne di rilevamento al suolo soltanto su un numero relativamente limitato di situazioni ambientali plausibili.

Le relazioni tra contesto ambientale ed insediamenti archeologici sono stati oggetto di vari studi negli ultimi anni ed utilizzate per sviluppare metodi euristici o statistici volti a predire i luoghi dove fosse probabile l'esistenza di un sito archeologico. Allo scopo di sviluppare tale tipo di modelli, è necessario in primo luogo determinare la combinazione dei fattori e delle variabili ambientali più significative a "spiegare" la presenza di siti archeologici noti ed a "predire" quelli ancora sconosciuti. In realtà, i modelli di predittività possono basarsi su una moltitudine di variabili che contribuiscono a descrivere l'ambiente, che differiscono sia in scala che in natura. Alcune di tali variabili sono continue, mentre altre rappresentano informazioni categoriche discrete. Uno o più sottoinsiemi di variabili può essere utilizzato a caratterizzare adeguatamente il contesto locale ed a definire la predisposizione all'insediamento, indipendentemente o dipendentemente dal periodo storico. I fattori ambientali principali sono generalmente definiti mediante un approccio deduttivo basato sulla conoscenza dell'archeologo e/o dell'ecologo esperto e l'informazione, una volta acquisita ed opportunamente parametrizzata, viene inserita in un GIS opportunamente strutturato per le successive operazioni di elaborazione ed analisi.

Alcuni studi hanno tentato, anche se con poco successo, di caratterizzare il contesto ambientale mediante insiemi di fattori adatti non solo a ipotizzare la presenza di siti archeologici sconosciuti, ma anche a predirne la tipologia ed il periodo storico. Anche se molto ambito, questo risultato sembra non essere all'immediata portata delle attuali tecnologie di rilevamento ed analisi. Viceversa, la definizione di uno o più insiemi base di fattori ambientali adatti ad una sufficiente descrizione dell'ambiente e la messa a punto delle relative metodologie di acquisizione, gestione ed elaborazione dell'informazione, se impiegata in adeguati modelli statistici multivariati sviluppati, può consentire di realizzare la mappatura dei siti archeologici "probabili" di territori estesi quali province o regioni in tempi ed a costi accettabili. Alcuni di tali fattori e variabili ambientali possono essere ottenuti dalla cartografia e dalle tecniche tradizionali. Altri possono invece essere derivati dalle immagini acquisite dai sensori di telerilevamento di ultima generazione, soprattutto da satellite. La trasformazione tra dato telerilevato ed informazione richiede peraltro lo sviluppo e la messa a punto di metodi e tecniche di elaborazioni finalizzate a fornire l'informazione con le caratteristiche di precisione, affidabilità, scala e significatività adeguate al corretto funzionamento dei modelli di predittività. In definitiva, mentre le tecniche di analisi e fotointerpretazione delle immagini da parte di un operatore esperto trovano una sorgente di materiale nuovo di notevole interesse, rimane il problema di *valutare le effettive potenzialità informative del dato telerilevato ai fini dell'indagine archeologica* e di

sviluppare le metodologie di analisi ed elaborazione numerica di immagini più adatte ad evidenziare e/o estrarre le informazioni di interesse per i modelli di predittività archeologica. A tal fine e' importante porre l'attenzione non tanto al settore delle tecniche di elaborazione volte alla *evidenziazione* di resti archeologici identificabili dall'esperto, ma soprattutto al settore delle piu' complesse tecniche di analisi multispettrale, multitemporale e multi-sensore, in grado di individuare caratteristiche del territorio *associabili* a siti e manufatti di interesse archeologico.

L'attività non può non essere definita con un elevato livello di multidisciplinarietà, che unisca sinergicamente le competenze sia degli archeologi e degli esperti di Beni Culturali, degli esperti di Scienze della Terra, delle tecniche di telerilevamento spaziale ed infine - non meno importante - dei Sistemi Informativi Territoriali.

5. Stato dell'arte: tecnologie non Earth Observation

5.1. - Sistema Integrato Archeologia-Ambiente

Le diverse metodologie di indagine (topografica, geologica, archeologica, geofisica) consentono di acquisire le informazioni relative alle proprietà caratteristiche del terreno ed alla possibile presenza di strutture sepolte e di interpretare tali informazioni con l'obiettivo di circoscrivere le aree maggiormente indiziate. Tra queste il telerilevamento, con l'introduzione di sensori diversi e complementari rispetto alla tradizionale fotografia aerea, può fornire sia a livello di acquisizione di immagini, che a quello di trattamento e interpretazione dei dati, interessanti elementi per ricostruzioni paleo – geografiche e per valutazioni sui rapporti spazio temporali tra risorse ed insediamenti antropici antichi.

Il contributo che le metodologie di indagine non-EO possono apportare allo studio degli strati più superficiali del territorio, interessati dalla presenza di manufatti o più generalmente da preesistenze di natura antropica, è ormai noto ed impiegato in modo frequente. Esse devono essere considerate come un apporto fondamentale per individuare sistematicamente le risorse culturali che il territorio può contenere. Le diverse metodologie di prospezione (i metodi geofisici, per esempio), consentono di acquisire ed interpretare alcune proprietà costitutive del terreno indagato ed in particolare, nel caso specifico delle indagini finalizzate all'individuazione delle testimonianze antropiche, se impiegate in modo integrato possono fornire quell'insieme sistematico di informazioni, necessario alla ricerca. Sulla base della letteratura corrente, dei risultati ottenuti in campo internazionale sull'impiego integrato di diversi metodi di surveys, le indagini geofisiche sono ormai considerate come *"il momento di verifica"* delle informazioni sulle preesistenze fisiche ed antropiche di un dato territorio ottenute attraverso l'acquisizione e l'interpretazione di immagini da *Remote-Sensing*. Tali informazioni, supportate da una maglia topografica di alta precisione, diventano lo strumento indispensabile per i controlli sul terreno. Le prospezioni geofisiche rappresentano, a questo punto, uno dei principali metodi per il controllo immagini-terreno, completando in modo determinante, sia sul piano qualitativo, interpretativo che quantitativo, il quadro ottenuto dal telerilevamento. In questo quadro le prospezioni geofisiche vengono *"mirate"* sul territorio e possono offrire quell'insieme di informazioni per la ricomposizione di un quadro storico che spesso è risultato carente anche nelle applicazioni meglio riuscite. È necessario, però, che le diverse metodologie siano incrociate ed interfacciate al fine di produrre *"mappe geofisiche"* da inserire nella cartografia tematica computerizzata che costituisce in tal modo lo strumento per la rappresentazione sintetica delle caratteristiche fisiche e degli indizi di tutte le preesistenze antropiche di un dato territorio.

Nella realizzazione del processo di analisi del territorio sopra menzionato le competenze presenti presso l'ITABC possono contribuire alla costruzione del quadro generale di riferimento e alla realizzazione del Data Base relazionale e del relativo Sistema Informativo Territoriale. Per l'ITABC, base fondamentale del lavoro per raggiungere il giusto livello di conoscenza, sarà costituito dall'analisi integrata sistematica e sistemica del territorio. In particolare l'ITABC affronterà da un lato gli aspetti relativi alla caratterizzazione geoambientale ed al riconoscimento delle tracce antropiche (*ambiente e dinamiche insediative*) e dall'altro svilupperà un modello di integrazione dei dati ottenuti con diverse tecniche di prospezione per la loro codificazione e gestione nel Sistema Informativo Territoriale (*Integrazione dei metodi di indagine*).

Il presente WP curerà i seguenti aspetti:

- georeferenziazione delle immagini e della restituzione cartografica delle informazioni acquisite utilizzando moderne strumentazioni topografiche.

- L'utilizzo del DGPS sarà integrato dall'uso di sistemi palmari bluetooth in modo da costruire dati GIS e mappe tematiche in tempo reale e senza post-processing.
- progettazione e realizzazione di opportune campagne di acquisizione, impiegando il sistema Ground Penetrating Radar (GPR), che può considerarsi come il metodo che rappresenta la continuazione di segnale tra il mezzo investigato con il SAR X (la superficie) ed il sottosuolo, fino a raggiungere le profondità interessate dalla presenza di strutture archeologiche.
- Realizzazione di modelli tridimensionali dei siti archeologici campione mediante l'integrazione dei dati SAR, fotogrammetrici e dei dati acquisiti da scanner tridimensionali terrestri.
- Ricostruzione virtuale di paesaggi archeologici per applicazioni di realtà virtuale, a cominciare dal paesaggio osservato (da dati spaziali e telerilevati) per arrivare al paesaggio ricostruito.
- Implementazione di Sistemi Informativi territoriali per la gestione integrata dei dati raccolti e per la produzione di mappe tematiche a diversi livelli di scala
- Creazione di sistemi di realtà virtuale desktop (DVR) per l'integrazione e la visualizzazione dinamica e spaziale di tutti i dati elaborati (raster, vector, filmati, simulazioni, metadati, ecc.) in un unico ambiente di esplorazione interattiva.

5.2. - Sounding delle proprietà geofisiche del suolo a supporto della elaborazione delle tecniche EO

Le immagini riprese da sensori remoti, come le foto aeree, sono state e continuano ad essere un valido aiuto per l'individuazione di tracce ricollegabili alla presenza di strutture archeologiche sepolte. Ciò si esplica perché qualsiasi oggetto sepolto può indurre, nel tempo, variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche della suolo sovrastante creando delle anomalie rispetto alle caratteristiche del terreno circostante. Tali anomalie possono essere derivate dai sistemi di EO in funzione sia delle condizioni ambientali durante la ripresa, che della risoluzione spettrale e spaziale dell'anomalia rispetto alla risoluzione dello strumento remoto. In più di una occasione le diverse tecnologie satellitari si sono mostrate complementari quando applicate alle tematiche archeologiche in quanto il loro uso integrato (approccio multi-sensore) è fondamentale per analizzare i vari contesti territoriali dove i siti archeologici sono collocati (da marini a terrestri, da pianeggianti a montuosi, da desertici a vegetati).

L'utilizzo dei sistemi di EO sia passivi che attivi, per l'individuazione, la conoscenza, la sorveglianza ed il monitoraggio delle strutture archeologiche sepolte necessita di una stima quantitativa dei parametri fisici che sottendono ai processi naturali. La parametrizzazione in tale ambito è intesa come individuazione e stima quantitativa degli effetti indotti dalla presenza di strutture archeologiche presenti nel primo sottosuolo. Essa si può esplicitare come *sounding* delle proprietà geofisiche del suolo, intesa sia come quantificazione in loco degli scambi che avvengono tra suolo-atmosfera, che come propagazione in atmosfera delle proprietà geofisiche misurate al suolo attraverso l'applicazione del transfer radiativo in atmosfera. E' altresì ovvio che queste misure richiedano la definizione di protocolli di misura per la standardizzazione dei parametri in modo da assicurare la validità dei dati durante la fase di analisi dei dati remoti. In particolare le misure geofisiche di supporto alla fase di processing dei dati remoti dovranno includere le proprietà fisiche che influiscono la risposta spettrale del mezzo in cui è disperso il manufatto sepolto, analisi chimico fisiche del suolo e la stima delle proprietà fisiche dei costituenti atmosferici che caratterizzano l'interazione della luce durante il suo percorso in atmosfera.

5.3. – Telerilevamento attivo a microonde e georadar

I sistemi di telerilevamento a microonde, ed in particolare i radar ad apertura sintetica (SAR), sono potenzialmente molto utili nel campo dell'archeologia, sia per le applicazioni finalizzate al monitoraggio di siti archeologici già noti, sia per l'identificazione di nuovi siti archeologici. I sistemi SAR, infatti, oltre a condividere i vantaggi di tutti gli altri sistemi satellitari di telerilevamento (visione sinottica, convenienza economica rispetto a campagne in situ, ecc.), presentano delle caratteristiche peculiari che li rendono particolarmente interessanti per le applicazioni in esame. Anzitutto, in quanto sensori attivi, cioè dotati di propria fonte di "illuminazione" (o meglio di irradiazione), essi sono indipendenti dalla illuminazione solare e consentono quindi l'osservazione anche di notte. Inoltre, in quanto sensori coerenti, cioè in grado di misurare sia l'ampiezza che la fase del segnale retrodiffuso dal suolo, essi permettono, con una opportuna elaborazione, di raggiungere risoluzioni molto elevate (anche dell'ordine del metro nel caso del sensore SAR montato sui satelliti della costellazione COSMO/SkyMed, il cui lancio è previsto nei prossimi anni) ed inoltre consentono l'impiego di tecniche interferometriche grazie alle quali è possibile misurare spostamenti del suolo con accuratezza anche inferiore al centimetro. Infine, i sensori SAR utilizzano le microonde, che sono in grado di attraversare senza difficoltà una eventuale copertura nuvolosa e, specialmente quelle di frequenza più bassa (banda L), sono in grado di penetrare attraverso uno strato di vegetazione, consentendo così l'osservazione di oggetti nascosti dalla vegetazione, o attraverso strati di terreno estremamente aridi (ad esempio, uno strato di sabbia desertica), consentendo così in questi casi l'osservazione di oggetti sepolti. Tali proprietà dei sensori SAR suggeriscono immediatamente una serie di applicazioni in campo archeologico: controllo della stabilità dei siti, identificazione di strutture ricoperte dalla vegetazione, identificazione di oggetti sepolti in regioni aride.

Nell'ambito delle tecnologie NON EO di interesse per il progetto un ruolo significativo è giocato dal georadar. Il georadar si comporta come un "classico" apparecchio radar ed è costituito da un'antenna trasmittente che invia un segnale interrogante nel suolo e da una o più antenne riceventi che registrano gli echi prodotti in superficie dalle riflessioni subite dall'onda investigante in corrispondenza delle discontinuità delle proprietà dielettriche e conduttive presenti nella regione investigata. Pertanto, esso può essere impiegato per rilevare, localizzare e determinare l'estensione di eventuali strutture sepolte con profondità di investigazione che arrivano a qualche decina di metri. Nonostante il largo impiego delle prospezioni georadar in archeologia, negli ultimi tempi si è manifestata la necessità di accrescerne le potenzialità di impiego soprattutto per quanto riguarda l'elaborazione dei dati. Infatti, l'elaborazione dei dati raccolti mediante georadar si basa tipicamente sulla "lettura" diretta dei cosiddetti radargrammi che riportano, per ogni posizione spaziale di misura in superficie, il tempo di ritardo degli echi riflessi dalle discontinuità dielettriche/conduttive presenti nel suolo. Sebbene appaia relativamente semplice, tale metodologia di elaborazione è fortemente dipendente dall'interpretazione dell'operatore e dunque non è in grado di fornire informazioni oggettive, specialmente in presenza di scenari complessi caratterizzati da più oggetti. Al fine di superare tale limitazione è necessario ricorrere a tecniche di elaborazione più sofisticate in grado di produrre "immagini" capaci di fornire informazioni di natura *quantitativa* in termini di presenza, localizzazione, forma e natura fisico/chimica delle "anomalie" presenti nella regione investigata. Scopo del presente Work Package è, per ciascuna applicazione, evidenziare le potenzialità della tecnica SAR, descrivere lo stato dell'arte dell'impiego del SAR nell'ambito dell'applicazione considerata ed infine identificare gli aspetti critici. Per quanto riguarda il georadar, nel presente WP si mira alla descrizione dello stato dell'arte di impiego nell'ambito delle prospezioni archeologiche in situ, identificandone gli aspetti critici e presentando le relative soluzioni.

Le linee guida di questa analisi sono qui di seguito tracciate per ciascuna delle applicazioni identificate.

a) - Monitoraggio di siti archeologici sistemi viari o fluviali: controllo della stabilità dei siti.

La tecnica dell'interferometria SAR differenziale è basata sulla misura della differenza di fase tra i segnali relativi alla stessa area sul suolo, acquisiti dal sensore in istanti diversi (separati di qualche giorno o anche di mesi). Tale tecnica consente di ottenere mappe dei movimenti del suolo con una accuratezza dell'ordine di frazioni della lunghezza d'onda utilizzata (e quindi generalmente dell'ordine del centimetro o di alcuni millimetri) e con risoluzione dello stesso ordine di grandezza di quella del sensore SAR utilizzato (e quindi dell'ordine delle decine di metri o anche di alcuni metri con i sensori ad elevata risoluzione). L'impiego combinato di più acquisizioni in sequenza di dati SAR relativi alla medesima area consente inoltre di ricostruire l'andamento temporale dello spostamento di ciascuna cella di risoluzione. Questa tecnica può quindi essere utilizzata per tenere sotto controllo la stabilità dei suoli su cui sorgono siti archeologici ed anche per controllare la stabilità di singoli monumenti o rovine di dimensioni sufficientemente grandi (dell'ordine della risoluzione delle mappe).

Allo stato dell'arte, la tecnica può ormai considerarsi matura per l'impiego operativo, ed è infatti oggi usata con successo per il controllo di fenomeni vulcanici (bradisismo, variazioni volumetriche di coni vulcanici nelle fasi pre - e post-eruttive) e di dissesto idrogeologico (subsidenze di varia origine, alcuni tipi di frana), subsidenza di centri storici soggetti ad esondazioni. Tuttavia, per quanto attualmente a nostra conoscenza, la tecnica non è stata ancora impiegata per il controllo della stabilità di siti archeologici. Le principali limitazioni della tecnica dell'interferometria SAR differenziale sono legate da un lato al fenomeno della decorrelazione temporale (dovuta a variazioni temporali aleatorie della riflettività del suolo, particolarmente rilevanti in aree boschive) e dall'altro alla possibilità di cosiddetti "artefatti atmosferici", ossia errori dovuti a fluttuazioni aleatorie dell'indice di rifrazione dell'atmosfera. Tuttavia, ormai il primo fenomeno costituisce un problema solo in aree coperte da folta vegetazione, mentre gli effetti delle fluttuazioni dell'indice di rifrazione atmosferico possono essere notevolmente ridotti combinando più acquisizioni relative alla scena considerata. Rilevazione di nuovi siti archeologici e di sistemi viari o fluviali parzialmente o totalmente scomparsi: identificazione di strutture ricoperte dalla vegetazione. Come già osservato, le microonde di frequenza più bassa (banda L e, in misura minore, banda C) sono in grado di penetrare attraverso la vegetazione. Per questo motivo nelle immagini SAR sono visibili anche oggetti e strutture che nelle immagini ottiche sono nascoste dalla vegetazione. Questa proprietà è stata già sfruttata in passato dagli archeologi per identificare, utilizzando le immagini SAR della missione SIR-C/X-SAR (1994), alcuni resti dell'antica città di Angkor, in Cambogia, oggi in gran parte nascosta alla vista da una densa foresta pluviale. Allo stato attuale l'identificazione in immagini SAR di manufatti al di sotto della vegetazione è affidata all'occhio degli esperti: per andare verso una identificazione automatica degli oggetti occorrono da un lato algoritmi di elaborazione di immagini e dall'altro dei modelli di propagazione del segnale elettromagnetico attraverso lo strato di vegetazione. Gli algoritmi ed i modelli disponibili in letteratura saranno attentamente analizzati in relazione alla loro applicabilità all'identificazione di siti archeologici nascosti da vegetazione.

b) - Rilevazione di nuovi siti archeologici e di sistemi viari o fluviali parzialmente o totalmente scomparsi: identificazione di oggetti sepolti in regioni aride.

Come già osservato, le microonde di frequenza più bassa sono in grado di penetrare attraverso uno strato di terreno arido, in particolare uno strato di sabbia desertica. Dunque, nelle immagini SAR in banda L ed in misura minore in banda C sono visibili anche oggetti e strutture sepolti sotto la sabbia desertica. Questa proprietà è stata già sfruttata in passato dagli archeologi per identificare, nell'ampia area desertica ad ovest del Nilo, un gran numero di letti di corsi d'acqua (Wadi) ormai prosciugati e ricoperti da alcuni metri di sabbia (e quindi non visibili in immagini ottiche e foto aeree). Alla confluenza di due wadi (Wadi

Kufra, Libia) sono stati trovati i resti di un antico insediamento umano. Anche in questo caso sono state usate le immagini SAR della missione SIR-C/X-SAR (1994), sensore funzionante nelle tre bande L, C ed X (rispettivamente circa 1 GHz, 5 GHz e 10 GHz).

Anche per questa applicazione, allo stato attuale l'identificazione, in immagini SAR, di manufatti e strutture sepolte è affidata all'occhio degli esperti: per andare verso una identificazione automatica occorrono anche in questo caso da un lato algoritmi di elaborazione di immagini e dall'altro dei modelli di propagazione del segnale elettromagnetico attraverso un mezzo stratificato.

Gli algoritmi ed i modelli disponibili in letteratura saranno attentamente analizzati in relazione alla loro applicabilità all'identificazione di siti archeologici sepolti.

c) - Algoritmi di ricostruzione tomografica per il rilievo di siti archeologici mediante georadar: identificazione di strutture sepolte

Nonostante le numerose applicazioni di tecniche georadar alle prospezioni archeologiche, allo stato attuale risulta evidente la necessità di accrescerne le potenzialità di impiego; in particolare, l'attenzione è focalizzata allo sviluppo di tecniche di elaborazione dati innovative capaci di fornire immagini delle regioni investigate a partire da dati georadar. Lo scopo ultimo è ottenere informazioni dettagliate e di natura quantitativa sulla scena investigata in termini di presenza, localizzazione, forma e possibilmente sulla natura fisico/chimica delle "anomalie" presenti nella struttura sotto esame. Ciò col fine di rendere meno soggettiva possibile l'interpretazione delle immagini ricostruite.

A tal fine, sono necessarie tecniche di ricostruzione tomografica capaci di tenere esplicitamente in conto le equazioni che descrivono il fenomeno della diffusione elettromagnetica. In particolare, l'attività riguarda tecniche di soluzione basate su modelli lineari della diffusione elettromagnetica; in questo caso è possibile ottenere algoritmi di soluzione affidabili, stabili rispetto al rumore e capaci di trattare estesi domini di indagine. Per il perseguimento di tali obiettivi sono quindi di interesse studi sulla modellistica elettromagnetica per la simulazione numerica del segnale raccolto dal georadar, lo sviluppo, la messa a punto e la verifica degli algoritmi di soluzione per la ricostruzione dei parametri di interesse e le tecniche di elaborazione del segnale e delle immagini per l'estrazione di caratteristiche geometriche tipiche degli oggetti di interesse sulla base delle conoscenze a priori disponibili. Gli algoritmi ed i modelli disponibili in letteratura saranno attentamente analizzati in relazione alla loro applicabilità al rilevamento delle strutture sepolte.

d) - Aree test, progetti, definizione prodotti

Per quanto riguarda la parte SAR:

Saranno prodotte mappe di deformazioni del terreno su siti archeologici, percorsi viari o fluviali di particolare interesse utilizzando la tecnica dell'interferometria SAR. La catena di elaborazione per tale tecnica è infatti già disponibile.

Per quanto riguarda l'identificazione di oggetti sepolti, sia dalla vegetazione che dalla sabbia, saranno sviluppati modelli di diffusione da superfici naturali e da mezzi stratificati per la messa a punto di modelli di diffusione utili alla interpretazione di immagini. Inoltre, l'esperienza maturata sull'impiego di concetti della geometria frattale permetterà di esplorare l'impiego di tecniche di elaborazione e classificazione di immagini basate su parametri frattali.

Per quanto riguarda la parte georadar: saranno sviluppati modelli di diffusione elettromagnetica per scenari non omogenei (semispazio), definiti modelli semplificati di diffusione elettromagnetica che risultano propedeutici alla messa a punto di algoritmi di ricostruzione tomografica. Il fine ultimo è la generazione di immagini delle regioni investigate utili al rilevamento, localizzazione e determinazione della geometria degli oggetti sepolti.

5.4. – Dati telerilevati iperspettrali

La possibilità di utilizzare reticoli di diffrazione ad elevata efficienza, che riducono l'attenuazione dell'intensità della luce policromatica durante la scomposizione spettrale, insieme all'utilizzo di detector (CCD) ha consentito la costruzione di sensori che registrano la radiazione elettromagnetica solare riflessa dal suolo in maniera quasi continua dal Visibile (VIS) all'Infrarosso Termico (TIR). Tali sensori iperspettrali hanno trovato una ampia applicazione nel campo ambientale ed il parallelo sviluppo delle tecniche di calibrazione e di processing spettrale dei dati ha permesso di mettere a punto metodologie di analisi per l'estrazione quantitativa di parametri ambientali dai dati remoti iperspettrali. Principalmente per ragioni tecniche, sin a pochi anni fa, i dati iperspettrali sono stati esclusivamente acquisiti da spettrometri ad immagine (MIVIS, AVIRIS, HYMAP, CASI, AISA, ATM e TIMS ecc.) installati a bordo di piattaforme aeree. Tali piattaforme hanno assicurato la acquisizione di immagini con una risoluzione spaziale dell'ordine di alcuni metri compatibili con le dimensioni dei manufatti archeologici sepolti e quindi di sicura efficacia nel campo della prospezione geologica, pedologica di dettaglio e quindi aprendo la strada all'utilizzo del RS iperspettrale nella prospezione archeologica. Esempi di applicazione del telerilevamento iperspettrale da aereo alla prospezione archeologica in Italia sono stati basati sulla analisi delle anomalie spettrali del suolo indotti da manufatti antropici sepolti nella regione del VIS, NIR, SWIR e TIR. Questi studi hanno interessato il sito del Parco Archeologico di Selinunte, Villa Adriana, Marsala ed Arpi, quest'ultimo progetto ancora in itinere in quanto, all'interno di un progetto di ricerca bilaterale CNR - NERC, Università di Leicester. Negli ultimi anni alcune agenzie spaziali internazionali hanno intrapreso programmi di sviluppo di sensori satellitari su piattaforme satellitari (ampia copertura del territorio a costi ridotti, rispetto a quelli delle piattaforma aerea, maggiore rivisitazione del sito, presenza di tecniche consolidate per la classificazione a livello di sub-pixel che consentono di identificare signature spettrali all'interno del pixel) che rappresentano il futuro del telerilevamento passivo nel campo delle applicazioni ambientali.

HYPERION è stato il primo sensore ad usi civili per la ricerca, messo in orbita dalla NASA, che è attualmente in esercizio e gestito dall'USGS. In questo contesto l'ASI ha promosso lo sviluppo fino alla fase A del sensore iperspettrale HYPSEO, la cui rivisitazione è presente all'interno del programma di collaborazione Italo-Canadese (CIA). All'interno di questo programma il sensore iperspettrale Italo-Canadese sarà accompagnato da un sensore pancromatico ad alta risoluzione spaziale che supporterà lo scaling delle informazioni iperspettrali nel VIS a scala spaziale maggiore (condizione sicuramente a favore della applicazione del telerilevamento iperspettrale alla prospezione archeologica). In ambito europeo, invece, il programma di telerilevamento satellitare è affidato alla missione SPECTRA che si trova nella fase finale della selezione delle Core Mission.

Per garantire la qualità dei dati EO ottenuti da entrambe le piattaforme utilizzate (aereo satellite) nel telerilevamento iperspettrale, è indispensabile sottoporli ad accurate procedure di calibrazione e validazione che rappresentano il “processo in cui le riposte di un sistema sono definite quantitativamente rispetto a segnali di input noti e controllati” (Committee on Earth Observation Satellites, 2001). Le campagne di misura di calibrazione e validazione sono fondamentali non solo per la accuratezza e funzionalità dati EO, ma anche per completare la base osservativa necessaria ad una corretta comprensione e/o modellizzazione dei processi. Di conseguenza le misure geofisiche dal suolo e anche le campagne congiunte satellitari/aeree svolgono un ruolo essenziale per l'interpretazione delle EO e permettono di utilizzare al meglio il contenuto informativo dei dati telerilevati iperspettrali.

6. Integrazione di dati EO e non EO

6.1. – Obiettivi

Negli anni '90 l'aumentata disponibilità d'osservazioni della Terra in formato digitale e di buona qualità, nonché il miglioramento della risoluzione e delle tecniche di elaborazione e interpretazione delle immagini EO, hanno rafforzato lo sviluppo di *metodi per l'analisi di dati multisorgente* (MAMS).

I dati vengono quindi utilizzati per indagare un fenomeno od un processo sotto diversi punti di vista, utilizzando informazioni provenienti da fonti spesso molto eterogenee. I dati telerilevati da satellite giocano quindi un ruolo fondamentale rappresentando la superficie terrestre con caratteristiche di sinotticità, tempestività e ripetibilità difficilmente ottenibili con altri strumenti e tecniche. Tuttavia queste tipologie di dati presentano problemi di compatibilità con i dati non-EO, ed in particolare: una diversa struttura dei dati, un rapporto problematico fra la risoluzione e la scala d'indagine, e metodi per la misura dell'accuratezza. La loro integrazione ed analisi comparata rappresenta quindi un problema da risolvere utilizzando differenti approcci procedurali, legati sia agli obiettivi finali da raggiungere sia alla tipologia dei diversi dati ed informazioni da gestire. Nel caso particolare dei "Beni Culturali" occorre infatti considerare l'ampia eterogeneità delle informazioni utilizzabili, sia sotto l'aspetto del formato del supporto che contiene l'informazione, sia sotto quello temporale riferibile al periodo di raccolta e registrazione del dato, sia infine sotto quello riferibile alla modalità stessa di acquisizione dell'informazione.

Gli obiettivi da raggiungere come prodotto finale del WP5 sono:

- la definizione di una metodologia per l'integrazione e l'interpretazione di dati geografici multisorgente derivati da tecnologie EO e non EO per la produzione di mappe tematiche;
- l'identificazione e la caratterizzazione delle potenzialità delle tecniche di integrazione di dati EO multidimensionali e multisensore relativamente alla caratterizzazione fisica delle aree in esame

6.2. - Metodologia

L'integrazione dei dati multisorgente, multiformato e multitemporali può essere realizzata utilizzando strategie operative differenti, sia attraverso metodologie basate sulla procedura di analisi sia attraverso l'integrazione (o fusione) dei dati.

Gli aspetti e le problematiche da considerare nella progettazione di una corretta strategia d'integrazione di dati provenienti da differenti sorgenti sono numerosi. Bisognerà in particolare considerare che:

a) l'integrazione è necessaria a differenti livelli, che vanno dalla fusione dei dati EO per la produzione di mappe tematiche (es., morfometriche, copertura del suolo, uso del suolo, ecc.), alla valutazione contemporanea di dati EO e non-EO per produrre mappe di maggior contenuto informativo (es., caratteristiche superficiale e profonde e loro evoluzione, umidità del suolo, ecc.), fino all'integrazione a più alto livello che richiede oltre alla interpretazione di dati multisorgente anche la modellazione di processi decisionali complessi (es., mappe di pericolosità, di vulnerabilità, di rischio, relativamente all'impatto delle attività antropiche sulle aree sensibili).

b) le tipologie, le caratteristiche e la disponibilità dei dati EO (inclusi il grado di copertura, gli aspetti di acquisizione, i costi).

c) la definizione di un ambiente di rappresentazione dei dati ottimizzato in relazione all'obiettivo, allo schema di interpretazione, ed ai tipi di dati disponibili.

d) la definizione di metodi interpretativi appropriati sulla base delle caratteristiche dei dati e del livello d'integrazione. Le soluzioni più comunemente utilizzate comprendono: metodi di analisi statistica multivariata basate su livelli tematici e serie di dati storici per la definizione di correlazioni multiple fra parametri e analisi della loro rilevanza; metodi

simbolici, od a regole (GIS dedicati, con *layer* pesati e relazioni logiche e/o aritmetiche); metodi simbolici con trattamento dell'incertezza (*Fuzzy systems*, *Dempster-Shafer*, ecc.); metodi connessionistici o sub-simbolici, con o senza trattamento dell'incertezza, per analisi di dati storici con estrazione delle *features* e definizione delle loro relazioni.

In particolare si intende operare al fine di ottenere la:

- definizione dei dati EO e non EO da integrare per i diversi livelli di interpretazione;
- definizione di uno schema di rappresentazione integrato;
- definizione di schemi di interpretazione dei dati per differenti livelli di utilizzo

(mappatura della copertura o uso del suolo, mappatura della pericolosità, del rischio,...)

Per raggiungere l'obiettivo prefissato occorre quindi effettuare una:

- analisi delle tecniche di interpretazione dei dati ottici e microonde;
- analisi dell'impiego dei prodotti EO unitamente ai dati non EO ottico/infrarosso
- analisi delle tecniche di integrazione di prodotti EO ottico/infrarosso/microonde

multi-sensore e/o multirisoluzione

- analisi delle tecniche di integrazione delle misure ottenute dai sensori SAR;
- analisi delle tecniche di rappresentazione dei dati EO e non EO in funzione della loro

origine e della scala e del loro uso;

• analisi delle problematiche legate all'integrazione dei dati multisorgente (disomogeneità, multi-scala, co-registrazione, qualità, distribuzione sul territorio...);

- analisi delle tecniche di interpretazione di dati multisorgente.

7. Struttura del progetto.

7.1 Premessa

ArchaeoSurvey viene proposto dal Progetto Finalizzato “Beni Culturali” del CNR e verrà svolto, se approvato, presso le seguenti Unità Operative del Progetto.

7.1.1. Direzione Progetto Finalizzato “Beni Culturali” – CNR, Viale dell’Università 11, 00185 Roma, tel. 06.4463745, fax 064463883, e.mail cnrpfbcc@tin.it

Coordinamento: Pietro Alessandro Vigato

Struttura: A. Guarino, A. Ferrari, S. Tardiola, E. Sirugo, E. Possagno.

7.1.2. - IFAC-CNR (Istituto di Fisica Applicata “N. Carrara”) Via Panciatichi 64, 50127 FIRENZE, Tel: +39 055-4235.1, Fax: +39 055-410.893, <http://www.ifac.cnr.it>

Responsabile U.O.: Roberto Carlà

Questo Istituto fondato dal Prof. Nello Carrara nel 1946, fu ufficialmente riconosciuto dal CNR nel 1947 col nome di “Centro Microonde”. Nel 1968 divenne “Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche” (IROE). Nel 2002 come conseguenza del processo di riordino del CNR, l’IROE è stato fuso con l’Istituto di Elettronica Quantistica (IEQ) ed ha assunto il nome attuale di Istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara” (IFAC). L’IFAC impiega attualmente circa 110 persone ed è organizzata in cinque dipartimenti (sezioni). L’Istituto è attivo in numerosi progetti nazionali ed internazionali, quali quelli CNR, MURST, ASI, CE, ESA. In molti di tali progetti l’istituto ha un ruolo di primaria responsabilità. L’istituto opera da circa un ventennio nel campo del Telerilevamento ambientale. svolgendo attività di ricerca su una ampia gamma di aspetti teorici ed applicativi, quali lo studio dell’interazione dell’energia elettromagnetica con il suolo, la caratterizzazione informativa, calibrazione e valutazione di sensori multi-spettrali ed iperspettrali ad alta e media risoluzione da aereo e da satellite, ed inoltre lo sviluppo e la messa a punto di metodi di pre-elaborazione ed elaborazione per la valutazione di parametri geofisici ed ambientali di interesse in svariati settori applicativi quali i beni culturali archeologici, l’idrogeologia, l’agro-meteorologia, la fisica dell’atmosfera, la climatologia, ecc. Principalmente due dipartimenti sono coinvolti in progetti afferenti al settore spaziale: La sezione di Osservazione del sistema Terra e la sezione di Elaborazione di segnali e immagini. Alla prima fanno riferimento 36 unità di personale il cui impegno in ambito spaziale è dell’ordine del 60%. Alla seconda fanno capo 17 unità di personale il cui impegno in ambito spaziale è dell’ordine del 40%. Alle attività nel settore del telerilevamento ambientale collaborano quindi totalmente 54 persone strutturate tra ricercatori e tecnici. Ulteriori informazioni sull’Istituto sono reperibili presso il sito <http://www.ifac.cnr.it/>

Attività di ricerca, Progetti e Collaborazioni

Nell’ambito dell’Istituto, il gruppo proponente è impegnato da circa quindici anni in attività di ricerca volte allo studio e lo sviluppo di metodi di elaborazione di immagini numeriche di telerilevamento, in particolare da satellite, ai fini della valutazione ed il monitoraggio di parametri sull’ambiente. Nel contesto di progetti a livello nazionale e internazionale ha maturato, competenze specifiche - sia a livello conoscitivo che applicativo – relative alla valutazione delle potenzialità dei sensori di telerilevamento, alla caratterizzazione delle immagini da satellite e lo sviluppo di algoritmi e metodi di elaborazione ai fini della stima e del monitoraggio di informazioni relative alle condizioni ed ai processi ambientali. L’attività di ricerca è stata svolta sia nel campo delle tecniche di preelaborazione e correzione del dato satellitare (calibrazione radiometrica, correzione geometrica, registrazione e ortorettificazione, riduzione del rumore, ecc.), che dei metodi

di elaborazione e analisi in specifici settori applicativi (risorse archeologiche, idrogeologia, agrometeorologia, rischi ambientali, integrazione dati, ecc.).

Il gruppo di ricerca ha operato nell'ambito di progetti e contratti con il CNR, MURST, ASI, ESA e CNES, MAE, ed in molti di questi ha avuto ed ha un ruolo di primaria responsabilità. Negli anni passati ha collaborato inoltre con il Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Min. della Protezione Civile nell'ambito di progetti relativi al monitoraggio dei rischi di piena e con l'Agenzia Spaziale Italiana per studi relativi all'applicazione del telerilevamento alle problematiche relative al rischio di idrogeologico.

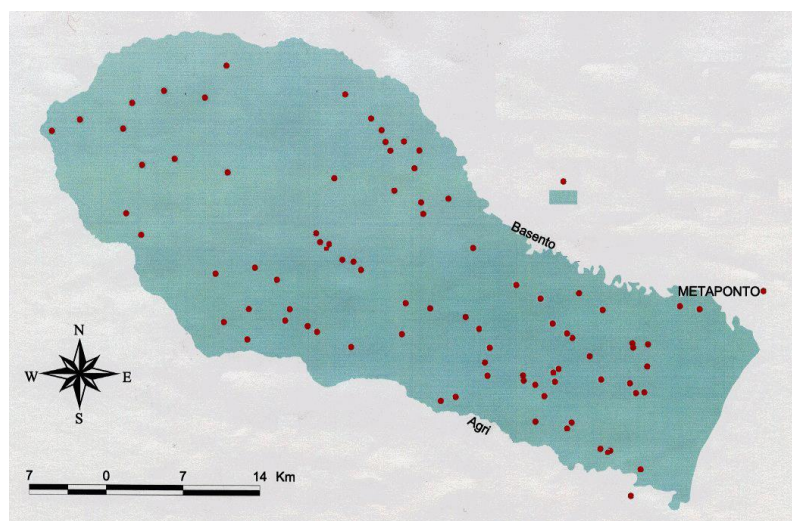
In particolare, il gruppo proponente ha partecipato al Progetto Finalizzato Beni Culturali finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, sviluppando ricerche relative all'applicazione delle tecniche di telerilevamento al settore delle risorse culturali archeologiche, occupandosi in particolare dell'individuazione di siti e manufatti archeologici mediante tecniche di telerilevamento integrate con GIS e modelli multivariati di predittività.

Impegno del personale IFAC per i 6 mesi di progetto

Cognome e Nome	Qualifica
Roberto Carlà	responsabile
Stefano Baronti	ricercatore
Cinzia Lastri	ricercatore
Valerio Venturi	tecnico

Attività di ricerca svolta da IFAC-CNR nell'ambito del Progetto Finalizzato "Beni Culturali" del CNR

Nell'ambito del Progetto Finalizzato "Beni Culturali", coordinato e finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, è attiva una linea di ricerca volta allo sviluppo ed alla messa a punto di un metodo predittivo per l'individuazione dei siti archeologici, mediante l'impiego integrato di immagini acquisite da satellite e dati cartografici. Sono state elaborate immagini multispettrali e multi-temporali nelle bande del visibile, dell'infrarosso e delle



microonde acquisite dai sensori operativi a bordo dei satelliti LANDSAT, SPOT ed ERS-1. Dopo le operazioni di correzione geometrica e radiometrica, georeferenziazione, riduzione del rumore, le immagini sono state elaborate con tecniche di analisi esperta, "data fusion", analisi statistica e spettrale, per valutare i parametri

del contesto ambientale significativi ai fini dell'individuazione degli insediamenti archeologici. Per la sperimentazione è stata selezionata una vasta zona della Regione Basilicata, compresa tra i fiumi Basento a Nord, Agri a Sud, il mare Jonio ad Est e la catena Appenninica ad Ovest. L'area di studio si estende per circa 1300 km² ed è caratterizzata da una grande varietà di paesaggi, come risultato della interazione di molteplici forme e processi geomorfologici, unità geologiche, tipi di suolo, condizioni climatiche, ecc. In base alle indicazioni bibliografiche ed ai reperti conservati nei Musei della regione (Potenza,

Metaponto e Policoro), l'area risulta essere stata occupata con continuità dal Paleolitico all'Età Romana. Tuttavia, non sono numerosi i siti noti, nè sempre abbondanti i materiali relativi alle varie età. Non è pertanto possibile tracciare un quadro di riferimento completo e sicuro della storia del territorio. Inoltre, non è mai stato sufficientemente approfondito il rapporto contesto/siti. Di conseguenza si ignorano aspetti fondamentali sugli insediamenti ed il rapporto tra le risorse naturali e le attività produttive nelle varie età.

L'obiettivo della ricerca, ancora in fase di svolgimento, mira ad identificare i parametri ambientali più significativi ai fini dell'identificazione di siti archeologici mediante modelli statistici multivariati di predittività, ed inoltre a mettere a punto opportune metodologie di elaborazione ed analisi, integrate con tecniche GIS, per l'estrazione dalle immagini telerilevate delle informazioni del contesto ambientale selezionate come le più adatte a caratterizzare la presenza di insediamenti.

Risultati ottenuti sono:

Mappa degli insediamenti archeologici "predetti" dal modello e controllati durante campagne di rilevamento. La previsione è risultata corretta in più del 95% dei casi.

Nella tabella sono schematizzate le competenze e gli Istituti che hanno collaborato in passato nell'ambito del Progetto Finalizzato Beni Culturali, ma che non rappresentano un quadro esaustivo delle competenze utili al conseguimento degli obiettivi.

Denominazione	Referenti	COMPETENZE
IFAC-CNR Istituto di Fisica Applicata "N. Carrara", Firenze	Roberto Carlà	<ul style="list-style-type: none"> ➤ telerilevamento satellitare ➤ elaborazione immagini ➤ analisi ambientale
IEIIT-CNR Istituto di elettronica e di ingegneria dell'informazione e delle telecomunicazioni, Bologna	Alberto Carrara	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sistemi Informativi Geografici ➤ Geomorfologia ➤ Modelli statistici
ITABC-CNR Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali, Montelibretti	Salvatore Piro	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tecniche di prospezione geofisica
Archeologa professionista	Maria Jacoli	<ul style="list-style-type: none"> ➤ analisi storico-archeologica di un territorio ➤ campagne di rilevamento
Geologo professionista	Giuliana Profeti	<ul style="list-style-type: none"> ➤ gestione banche dati ➤ dati cartografici e satellitari

7.1.3. – Istituto Tecnologie Applicate ai Beni Culturali del CNR, (ITABC)

Responsabile U.O.: Salvatore Piro

Questa Unità Operativa si avvale delle competenze multidisciplinari presenti al suo interno e che riguardano gli aspetti connessi alle tecniche di prospezione, di elaborazione e rappresentazione della superficie terrestre basate sull'impiego di diverse categorie di strumenti e metodi di calcolo. Nella realizzazione del processo di analisi del territorio sopra menzionato le competenze presenti presso l'ITABC possono contribuire alla costruzione del quadro generale di riferimento e alla realizzazione del Data Base relazionale e del relativo Sistema Informativo Territoriale. Per l'ITABC, base fondamentale del lavoro per raggiungere il giusto livello di conoscenza, sarà costituito dall'analisi integrata sistematica e sistemica del territorio. In particolare l'ITABC affronterà da un lato gli aspetti relativi alla caratterizzazione geoambientale ed al riconoscimento delle tracce antropiche (*ambiente e dinamiche insediative*) e dall'altro svilupperà un modello di integrazione dei dati ottenuti con diverse

tecniche di prospezione per la loro codificazione e gestione nel Sistema Informativo Territoriale (*Integrazione dei metodi di indagine*).

In particolare, i ricercatori dell'ITABC cureranno i seguenti aspetti:

- georeferenziazione delle immagini e della restituzione cartografica delle informazioni acquisite utilizzando moderne strumentazioni topografiche.
- L'utilizzo del DGPS sarà integrato dall'uso di sistemi palmari bluetooth in modo da costruire dati GIS e mappe tematiche in tempo reale e senza post-processing.
- progettazione e realizzazione di opportune campagne di acquisizione, impiegando il sistema Ground Penetrating Radar (GPR), che può considerarsi come il metodo che rappresenta la continuazione di segnale tra il mezzo investigato con il SAR X (la superficie) ed il sottosuolo, fino a raggiungere le profondità interessate dalla presenza di strutture archeologiche.
- Realizzazione di modelli tridimensionali dei siti archeologici campione mediante l'integrazione dei dati SAR, fotogrammetrici e dei dati acquisiti da scanner tridimensionali terrestri.
- Ricostruzione virtuale di paesaggi archeologici per applicazioni di realtà virtuale, a cominciare dal paesaggio osservato (da dati spaziali e telerilevati) per arrivare al paesaggio ricostruito.
- Implementazione di Sistemi Informativi territoriali per la gestione integrata dei dati raccolti e per la produzione di mappe tematiche a diversi livelli di scala
- Creazione di sistemi di realtà virtuale desktop (DVR) per l'integrazione e la visualizzazione dinamica e spaziale di tutti i dati elaborati (raster, vector, filmati, simulazioni, metadati, ecc.) in un unico ambiente di esplorazione interattiva.

Gruppo

Il gruppo di ricerca è costituito da ricercatori afferenti a diversi Istituti del CNR nel cui interno sono riunite competenze multidisciplinari che ricoprono la maggior parte degli aspetti connessi alle tecniche di osservazione della terra con strumenti passivi remoti.

- Istituto Inquinamento Atmosferico, Sez. LARA (CNR IIA LARA, Pomezia)
- Istituto di Scienze Marine, Sezione di Venezia (CNR ISMAR, Sez. Venezia)
- Istituto Metodologie Analisi Ambientale (CNR IMAA, Potenza)

Nelle applicazioni archeologiche il gruppo ha sempre lavorato in stretto contatto con gli esperti dei siti nella fase di interpretazione dei prodotti derivati dalla elaborazione dei dati telerilevati. L'attività scientifica del gruppo nel campo della applicazione delle tecniche di remote sensing all'archeologia si esplica sia nella fase di pre-processing dei dati ottici multi-iperspettrale telerilevati da aereo e da satellite (operazione di fondamentale importanza propedeutica alla elaborazione dei dati che riguarda la calibrazione radiometrica, la correzione geometrica ed atmosferica) che nella fase di processing dei dati remoti finalizzato al riconoscimento di strutture antropiche archeologiche sepolte nei diversi contesti naturali. Il gruppo si avvale inoltre di strumentazione portatile di carattere geofisico sia per condurre indagini conoscitive in campagna delle proprietà fisiche e spettrali dei materiali di copertura, che per effettuare surveys per la identificazione e la ricostruzione 3D dei manufatti sepolti nel primo sottosuolo ipotizzati dall'analisi dei dati remoti.

Per quanto concerne le tecniche di diagnostica elettromagnetica non invasiva, l'IMAA dispone di un sistema integrato di near surface tomography che è stato progettato e realizzato nell'ambito di progetti sviluppati nel settore ambientale e dei rischi naturali, ma che abbiamo anche largamente sperimentato in Basilicata per lo studio di alcuni siti archeologici (Serra e Rossano di Vaglio, Grumentum) e centri storici (Sassi di Matera, Rabatana di Tursi). Inoltre queste tecniche elettromagnetiche sono state utilizzate per lo

studio di alcune strutture murarie di notevole interesse architettonico (Cattedrale di Troia in Puglia, castelli Federiciani di Melfi e Lagopesole) e nel corso di campagne di misure nell'area archeologica di Pompei ed in alcuni siti dell'isola di Creta. In allegato troverà una breve descrizione delle facility strumentali disponibili e dei risultati ottenuti che sono state recentemente pubblicati su riviste internazionali del settore. Questa attività di ricerca è svolta in collaborazione con il Gruppo INFM dell'Università di Napoli, coordinato dalla Prof.ssa Macchiato, altri istituti del CNR (IIA, IBAM,) ed alcune università (Federico II, Bari, Basilicata) e la Soprintendenza ai Beni Archeologici della Basilicata. Inoltre l'IMAA è inserito in un working group internazionale che promuove lo sviluppo di metodi e tecniche elettromagnetiche per l'esplorazione archeologica (es. l'IMAA-CNR ha organizzato e sponsorizzato una sessione su questo tema nel corso della European Conference of Exploration Geophysics svoltasi a Firenze nel 2002 ed ha avviato l'iter procedurale per organizzare un workshop internazionale su "Electrical, Magnetic and Electromagnetic Methods for Cultural Heritage" in Basilicata).

Programmi internazionali

Il Progetto internazionale dal titolo "Airborne thermography of the soil and soil-vegetation interface for archaeological prospection", condotto in collaborazione tra il National Environment Research Council Airborne Remote Sensing Facilities (NERC ARSF), University of Leicester ed il CNR IMAA nel 2003-2005, attraverso dati multispettrali e termici intende analizzare la sensibilità dei dati TIR rispetto a quelli VNIR in aree archeologiche (inglesi ed italiane) con diverso contenuto di umidità, tipologia di vegetazione e caratteristiche spettrali dei suoli. Sono altresì da menzionare i Programmi di calibrazione e validazione dei dati satellitari iperspettrali Hyperion EO-1 condotti nel 2001 in maniera congiunta da JPL-NASA e CNR ISMAR, IIA LARA e IMAA su aree urbane; i programmi a supporto delle attività ASI per la simulazione di prodotti a valore aggiunto derivanti dall'utilizzo di dati remoti iperspettrali da satellite (programma Hypseo) condotti da Telespazio, CNR ISMAR, IIA LARA ed IMAA.

Gruppo

Nel campo del processing dei dati iperspettrali gruppo di ricerca è costituito da ricercatori afferenti a diversi Istituti del CNR nel cui interno sono riunite competenze multidisciplinari sia nel campo della calibrazione e validazione dei dati e nella fase di pre-processing, che nella fase di elaborazione spettrale delle immagini per la prospezione archeologica.

- Istituto Inquinamento Atmosferico, Sez. LARA (CNR IIA LARA, Pomezia)
- Istituto di Scienze Marine, Sezione di Venezia (CNR ISMAR, Sez. Venezia)
- Istituto Metodologie Analisi Ambientale (CNR IMAA, Potenza)

Nelle applicazioni archeologiche il gruppo ha sempre lavorato in stretto contatto con i referenti archeologi esperti dei siti investigati in modo da assicurare, al meglio, l'integrazione delle diverse competenze.

La competenza scientifica del gruppo nel campo della applicazione delle tecniche di remote sensing all'archeologia si esplica sia nella fase di pre-processing dei dati ottici multi-iperspettrale telerilevati da aereo e da satellite (operazione di fondamentale importanza propedeutica alla elaborazione dei dati che riguarda la calibrazione radiometrica, la correzione geometrica ed atmosferica) che nella fase di processing dei dati remoti finalizzato al riconoscimento di strutture antropiche archeologiche sepolte nei diversi contesti naturali. Il gruppo si avvale inoltre di strumentazione portatile di carattere geofisico per la raccolta dei dati in campagna atta ad assicurare una corretta validazione/calibrazione dei dati e di supporto per la attività investigativa a fine archeologico.

7.1.4 - IREA-CNR L'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente

Responsabile U.O.: Antoninetti

L'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA) è stato costituito il 18 aprile 2001 nell'ambito della razionalizzazione della rete degli Istituti di Ricerca del CNR prevista dal Dlg. 30/01/99. L'Istituto nasce dall'unione dei Reparti di Elettromagnetismo e Bioelettromagnetismo dell'ex Istituto di Ricerca per l'Elettromagnetismo e Componenti Elettronici (IRECE) di Napoli e del Reparto di Telerilevamento dell'ex Istituto di Ricerca per il Rischio Sismico (IRRS) di Milano, da anni attivi nei settori del Telerilevamento, Diagnostica dell'Ambiente e del Territorio, nonché del controllo del Rischio elettromagnetico. Il monitoraggio e controllo dell'ambiente sono affidati sempre più all'utilizzo di sensori in grado di operare in diverse regioni dello spettro elettromagnetico. Tale utilizzo richiede il consolidamento e lo sviluppo di metodologie per l'elaborazione, la fusione e l'interpretazione dei dati che consentano di valutare lo stato dell'ambiente prevedendone i possibili sviluppi e gli eventuali effetti sui sistemi biologici. In tali ambiti l'Istituto è attivo in diversi progetti di ricerca in collaborazione con Università, Enti nazionali ed internazionali e Amministrazioni pubbliche. Inoltre la collaborazione con altri Gruppi di ricerca operanti su tematiche di Osservazione della Terra e Diagnostica Ambientale, fa dell'IREA una realtà in evoluzione, aperta a ulteriori sviluppi e pronta a recepire nuove istanze di ricerca nell'ambito di scenari innovativi di sviluppo e intervento.

Le attività della Sezione di Milano dell'IREA si articolano nelle seguenti principali linee di ricerca:

- monitoraggio di processi ambientali (dissesto idrogeologico, dinamica dei ghiacciai, eutrofia delle acque);
- cartografia tematica (archeologia, qualità delle acque, incendi, urbano);
- studio dei flussi e scambi di energia anche a scala globale (global change);
- sistemi di gestione dati multisorgente e di supporto alle decisioni.

Particolare attenzione è dedicata alle attività di formazione e divulgazione sia in corsi universitari che per gli insegnanti delle scuole medie per i quali è stata recentemente realizzata una pubblicazione nell'ambito del progetto per l'educazione Ambientale TELEA: <http://telea.mi.cnr.it>. La sezione cura inoltre il coordinamento di associazioni scientifiche e congressi (ASITA).

8. Diagramma funzionale del Progetto ArchaeoSurvey

8.1. - Le fasi di un sistema per la conoscenza, il monitoraggio e la sorveglianza del patrimonio culturale archeologico

Lo scenario applicativo relativo al sistema conoscenza e gestione del patrimonio archeologico indica il percorso completo comprendente l'*individuazione* delle risorse archeologiche, la *conoscenza* ed infine la *gestione* delle stesse, intendendo con il termine gestione tutte le azioni necessarie alla conservazione ed alla valorizzazione del patrimonio culturale, incluso quindi anche le operazioni di controllo delle risorse da eventi e calamità dannose.

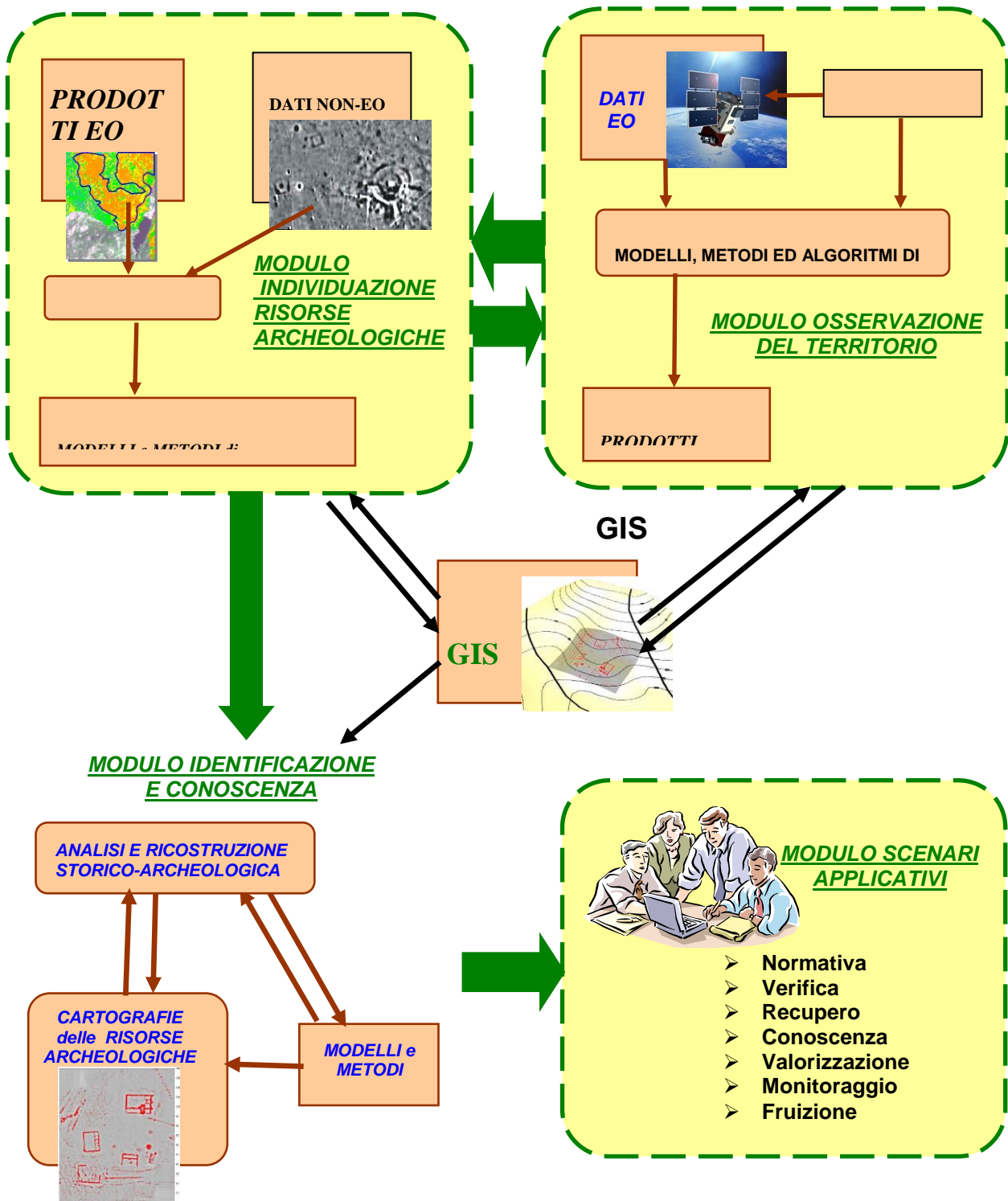
Idealmente ogni sistema dedicato alla *valorizzazione del patrimonio culturale archeologico* dovrebbe coprire le fasi operative legate alla conoscenza ed alla gestione, effettuate mediante l'impiego integrato dei più svariati metodi e tecniche, tra le quali anche il telerilevamento da aereo e da satellite.

Alcune tra le principali fasi operative sono:

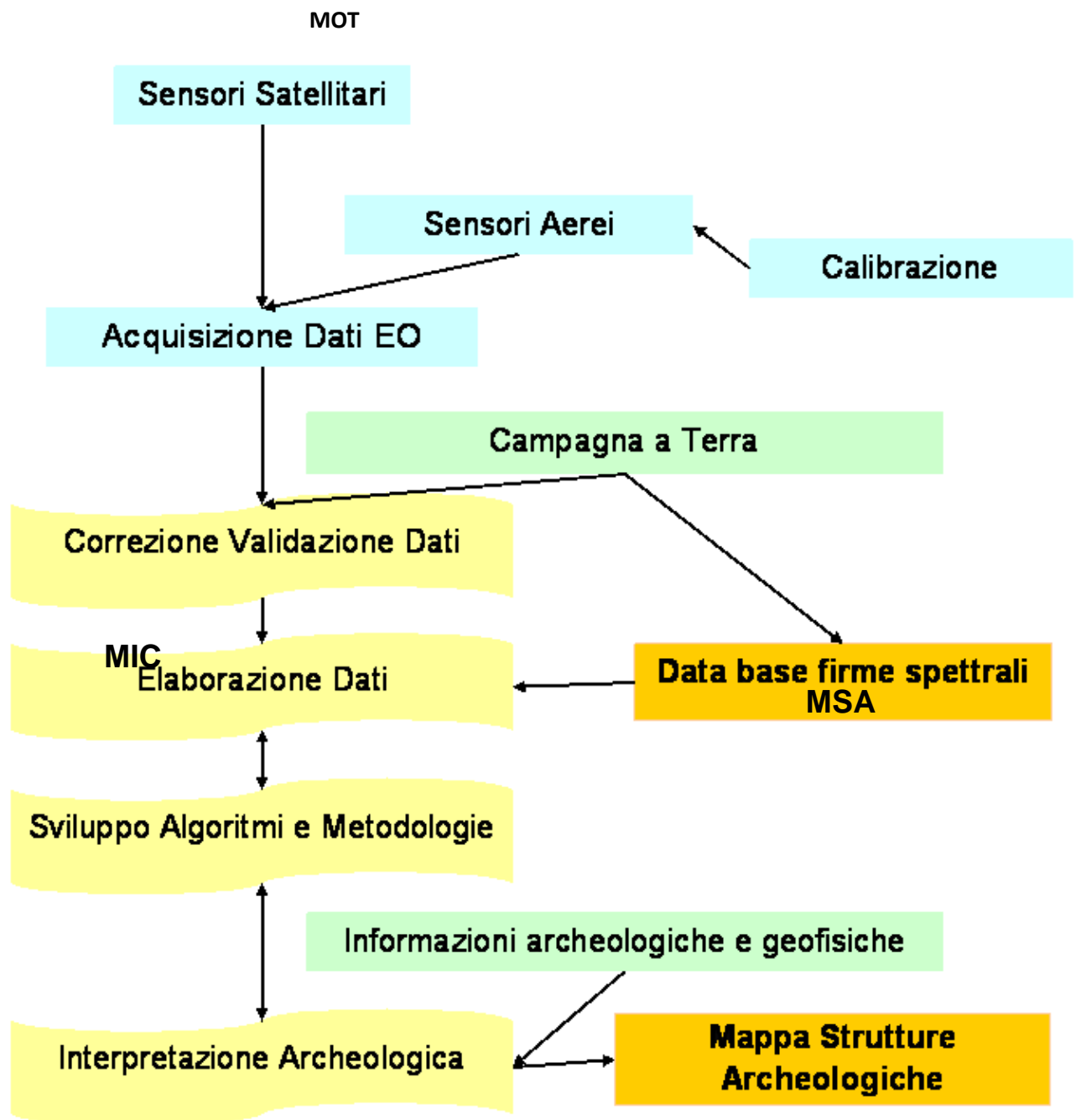
- Valutazione della suscettibilità archeologica del territorio
- Individuazione predittiva e generazione delle informazioni relative al rischio archeologico del territorio
- Pre-analisi per la conoscenza non-invasiva delle risorse
- Analisi ed identificazione delle risorse culturali archeologiche
- Valutazione delle risorse e programmazione delle attività di gestione
- Gestione delle risorse identificate (difesa, valorizzazione, attività di studio, interventi, definizione situazioni di criticità, ecc.)
- Sviluppo di metodi di monitoraggio delle situazioni di criticità (naturali e/o antropiche)
- Ricognizione dei sensori attivi e passivi su piattaforme satellitari e aeree funzionali alla identificazione delle anomalie superficiali connesse alla presenza di strutture antropiche sub-superficiali.
- Campagna di raccolta di dati EO identificati nella prima precedente in funzione delle problematiche del sito.
- Contestuale campagna a terra per la misura delle caratteristiche spettrali dei materiali e delle variabili derivate dalla elaborazione dei dati di EO. Misura dei parametri atmosferici al momento della acquisizione.
- Correzione e validazione dei dati telerilevati
- Sviluppo di algoritmi e/o procedure di elaborazione dei dati per lo studio ed individuazione delle anomalie chimico-fisiche (con particolare riguardo alle anomalie spettrali) connesse alla presenza di strutture sepolte.
- Analisi della complementarietà dei dati attivi e passivi nell'individuazione delle strutture archeologiche.
- Validazione dei risultati da parte degli studiosi del sito.
- Preparazione di una mappa delle strutture identificate da fornire alla fase di "saggio di scavo" o di campagna geofisica.

Nello schema funzionale che segue, a queste fasi sono collegati quelli che qui vengono definiti **scenari applicativi**: più precisamente lo scenario applicativo include la completa definizione del contesto in cui ci si pone per disegnare un progetto dimostrativo, quindi: le logiche della individuazione e della conoscenza e le metodologie di rilevamento

Una descrizione più dettagliata dei vari moduli, delle attività ad essi collegate e delle interazioni tra i diversi moduli è riportata nei paragrafi successivi.¹



UNO SCHEMA ESPLICATIVO DEL MODULO DELLA OSSERVAZIONE DEL TERRITORIO E' IL SEGUENTE:



(multisensore) ad esse connesse, l'estrazione delle informazioni di interesse, l'eventuale uso di dati ausiliari in-situ, la resa del servizio all'utente finale. Lo scenario applicativo va inoltre contestualizzato facendo riferimento alle specifiche realtà geografiche interessate, con tutte le conseguenze che ciò ha sia in termini di regionalizzazione degli algoritmi e dei metodi utilizzati, sia in termini di utenti interessati (con il probabile passaggio di competenze tra amministrazioni centrali e locali) e di infrastrutture di interfaccia. Nell'ambito degli scenari applicativi, il telerilevamento da satellite offre una vasta gamma di prodotti e servizi che potrebbero essere in grado di soddisfare alcune delle esigenze degli

utenti che direttamente gestiscono e valorizzano le risorse culturali archeologiche di un territorio.

8.2. - Diagramma funzionale dell'applicazione

I diagrammi funzionali riportati nelle figure rappresentano in modo schematico e sintetico gli elementi principali per lo sviluppo di un sistema per la conoscenza, il monitoraggio e la sorveglianza del patrimonio culturale archeologico. Il primo schema si limita ad individuare le funzioni e le logiche fondamentali dell'applicazione, ed è volutamente lasciato generico per permettere una successiva analisi dettagliata di tutti gli aspetti nella fase di progetto preliminare.

Il progetto proposto si identifica nei diversi moduli che raggruppano i vari blocchi del diagramma. I moduli fondamentali sono:

- Modulo Individuazione Risorse Archeologiche (MIRA)
- Modulo Osservazione del Territorio (MOT)
- Modulo Identificazione e Conoscenza (MIC)
- Modulo degli Scenari Applicativi (MSA)
- Modulo GIS (GIS)

8.2.1 Modulo Individuazione Risorse Archeologiche (MIRA)

In questa fase sono comprese le attività volte alla individuazione della presenza delle risorse archeologiche del territorio, in base a tutte le informazioni acquisite, sia storiche e documentarie che derivate da tecnologie EO, non-EO di qualunque tipo. L'informazione, opportunamente trattata mediante tecniche di assimilazione, verrà impiegata in opportuni modelli sia statistici che euristici, volti all'individuazione sia predittiva che deterministica della presenza di risorse culturali archeologiche.

8.2.2 Modulo Osservazione del Territorio (MOT)

In questa fase sono racchiuse tutte le attività inerenti la conoscenza del Territorio, utilizzando dati da satellite eventualmente integrate con altri tipi di informazioni: serie di dati storici, osservazione da aereo, misure in situ, etc. Per quanto riguarda questo modulo è pensabile di potere impiegare tutte le bande spettrali operative su satellite nel visibile-infrarosso, infrarosso termico e microonde, preferibilmente con risoluzioni spaziali elevate. Questo modulo comprende tutta l'algoritmica, i modelli ed i metodi di elaborazione dei dati (in tutte le sue varianti regionali) ed è finalizzato all'estrazione dell'informazione necessaria ad alimentare tutte le parti del sistema in tutte le fasi di conoscenza e gestione del patrimonio culturale. In questo modulo si definiscono tutte le attività che servono a migliorare la conoscenza del territorio ed a caratterizzare il contesto ambientale mediante la stima di opportune variabili geofisiche, ai fini della individuazione delle aree di interesse archeologico e quindi della definizione degli interventi necessari per la conoscenza e valorizzazione.

8.2.3 Modulo Identificazione e Conoscenza (MIC)

Le informazioni ricavate dall'Osservazione del Territorio, le informazioni ed i parametri ottenibili dai modelli di individuazione e predizione delle risorse archeologiche ottenute dai moduli 9.2.1 e 9.2.2 integrate nel GIS con altre informazioni ausiliarie possono essere usati come input per i metodi di identificazione ed interpretazione delle realtà individuate. Opportune verifiche, anche mediante rilevamenti in-situ porteranno al consolidamento della conoscenza nella maggior parte dei suoi aspetti, usufruendo anche delle conoscenze storiche e contribuendo alla ricostruzione storico-archeologico del

territorio. In questa fase viene definita la conoscenza delle risorse culturali archeologiche del territorio.

8.2.4 Modulo Scenari Applicativi (MSA)

In tale modulo sono evidenziati i diversi scenari applicativi legati alle fasi dell'individuazione, identificazione e conoscenza e quindi i diversi sistemi che devono essere progettati (l'architettura deve comprendere anche gli elementi infrastrutturali di supporto al servizio). Si descrivono qui di seguito alcuni scenari applicativi sulle alluvioni, con riferimento però soltanto alle necessità delle varie fasi di gestione dell'emergenza e non a specifici contesti geografici e operativi. Una volta definiti i vari scenari o contesti applicativi, in questa fase saranno definite le strutture operative ed i contesti ambientali ed archeologici in cui queste si troveranno ad operare. Saranno inoltre definite tutte le procedure necessarie per acquisire, elaborare e gestire le informazione acquisita, in particolare quella di telerilevamento. Saranno definite le ricadute a livello operativo sull'utenza e le interfacce del sistema con l'utenza stessa nelle varie componenti della valorizzazione e gestione del patrimonio culturale archeologico, nonché della diffusione e fruizione dell'informazione.

8.2.5 Modulo GIS (GIS)

Il Sistema Informativo Geografico è di supporto all'archiviazione dell'informazione ed ha un ruolo fondamentale sia per l'elaborazione di tutta la cartografia connessa alla gestione del patrimonio culturale archeologico che per l'interfaccia con i metodi ed i modelli di indagine e/o intervento. Sull'utilizzo del GIS si basa tutta la produzione di mappe (es. mappe di suscettibilità e di rischio archeologico, mappe archeologiche,) e di cartografia, con varie finalità connesse al tema applicativo. Esso è di fondamentale importanza anche per l'archiviazione dei dati ai fini delle attività di pianificazione e controllo delle realtà archeologiche ambientali stesse.

9. Descrizione delle attività richieste nel progetto Archaeosurvey

In questo capitolo viene descritta l'organizzazione generale del progetto preliminare. Vengono quindi dettagliati gli obiettivi del contratto e le attività richieste nelle varie fasi progettuali. Infine, vengono stabiliti i tempi, i deliverables, le azioni previste per la verifica delle attività contrattuali.

9.1. - L'organizzazione del progetto preliminare

Dal punto di vista tecnico, oggetto principale del presente contratto è il progetto preliminare dell'applicazione sulle risorse archeologiche.

Il progetto si suddivide in tre fasi:

Fase 1 - Identificazione dei requisiti utente e degli scenari applicativi

- Facendo riferimento al sistema Paese, l'identificazione dei requisiti utente (di informazione, di prodotto, di servizio, oltre ai vincoli di interfaccia con le strutture esistenti), e l'identificazione degli scenari applicativi nell'ambito dei quali dovranno inserirsi i singoli moduli del prodotto applicativo. In tale fase verrà disegnata l'architettura logico-funzionale dell'intera applicazione, concretizzando quella proposta in R1 ed identificando i diversi sottosistemi e le relative interfacce.

Fase 2 – Stato dell'arte e criticità

- L'identificazione delle soluzioni tecniche disponibili allo stato dell'arte per l'implementazione degli scenari applicativi (identificati nel documento descrittivo dell'applicazione). Là dove possibile, l'individuazione delle tecnologie tradizionali alternative e complementari.
- La derivazione dei requisiti di sistema e di sottosistema ed il disegno dell'architettura fisica (di alto livello) del sistema.
- A partire dallo stato dell'arte e dai requisiti dell'utente, l'identificazione dei *gap* tecnologici esistenti e la definizione delle attività di ricerca e sviluppo necessarie (progetto di ricerca associato allo sviluppo del prodotto) per colmare tali *gap*.
- L'identificazione dello *Space Segment* ottimale – e di quello minimale - di cui si dovrebbe disporre per fornire i dati EO necessari all'applicazione.

Fase 3 - Definizione Preliminare Progetti Pilota

- La preparazione del piano di progetto preliminare modulare e scalabile per la successiva fase realizzativa, circoscrivendo gli scenari applicativi che saranno oggetto dei progetti pilota. Il piano di sviluppo proposto dovrà includere le attività di ricerca e la dimostrazione pre-operativa.

La Fase 1 sarà conclusa dalla **RDR – 'Requirements and Preliminary Development plan Review'**, la fase 2 dalla **INR – 'INtermediate Review'**, la fase 3 dalla **PDR – 'Preliminary Design Review'**. Al termine del contratto, l'ASI dovrà disporre di tutta l'informazione necessaria ad orientare le proprie decisioni di sviluppo sull'applicazione.

In occasione di ciascuna milestone, l'ASI si riserva di indicare le proprie priorità ed – eventualmente - di riorientare le attività da svolgere.

9.2. Obiettivi

Il ciclo progettuale è suddiviso in tre sub-fasi, ciascuna delle quali termina con una milestone contrattuale e quindi con un momento di verifica dell'attività svolta e di indirizzo e decisione da parte dell'ASI:

- 📌 **Fase 1** - Identificazione dei requisiti utente e degli scenari applicativi
- 📌 **Fase 2** - Stato dell'arte e criticità
- 📌 **Fase 3** - Definizione Preliminare Progetti Pilota

Al termine della fase di definizione si disporrà di tutta l'informazione necessaria per procedere nella progettazione esecutiva delle soluzioni da implementare nei progetti pilota, come parte dell'architettura globale dell'intera applicazione.

ASI chiede inoltre che nel progetto preliminare siano considerati anche i seguenti task, trasversali riaspetto alle fasi:

- 📌 **Task a – Promozione e diffusione dei risultati**
- 📌 **Task b – Formazione**

9.3. Descrizione delle attività richieste

Task di Fase 1 - Identificazione dei requisiti utente e degli scenari applicativi

La **Fase 1 (*Identificazione dei requisiti utente e degli scenari applicativi*)** ha l'obiettivo di consolidare l'ambito progettuale, ed in particolare formalizzare i requisiti utente e tradurli in requisiti di sistema ed in un'architettura.

📌 **Task 1.a – Requisiti utente**

Identificare i requisiti utente (di informazione, di prodotto, di servizio, oltre ai vincoli di interfaccia con le strutture esistenti), nel contesto del sistema Paese.

📌 **Task 1.b – Scenari applicativi e modello logico-funzionale**

Identificare gli scenari applicativi nell'ambito dei quali dovranno inserirsi i moduli del prodotto applicativo che si andranno a sviluppare, e disegnare il modello logico-funzionale dell'intera applicazione, definendone i confini.

📌 **Task 1.c – Requisiti di sistema**

Derivare i requisiti di sistema dell'applicazione completa dai requisiti utente.

📌 **Task 1.d – Architettura di sistema**

Definire e disegnare l'architettura di sistema dell'applicazione per i vari scenari applicativi, derivandola dal modello logico-funzionale, individuando le componenti infrastrutturali (anche comuni), i sottosistemi e le interfacce.

Il disegno del sistema dovrà considerare i seguenti elementi:

- Diagramma di flusso dell'informazione e momenti decisionali
- DSS e procedure operative
- Elementi infrastrutturali
- Prodotti EO e mappe
- Modelli
- Dati ausiliari non EO (e reti di misura)
- Calibrazione e validazione

La definizione dell'infrastruttura di supporto (e quindi l'individuazione dei sottosistemi) è strettamente correlata agli scenari applicativi ed alle modalità operative dell'utente finale di riferimento (requisiti operativi e di servizio), con cui si dovrà prevedere di doversi interfacciare. Questa analisi preliminare è molto importante per definire il contesto di riferimento, e quindi effettuare successivamente la scelta delle soluzioni da implementare nel/i progetti pilota.

Task di Fase 2 – Stato dell'arte e criticità

La **Fase 2 (Stato dell'arte e criticità)** ha l'obiettivo di analizzare i singoli elementi del prodotto applicativo così come identificati nel disegno architettuale (prodotti, modelli, GIS, elementi infrastrutturali di supporto, space segment) candidati all'utilizzo, identificando lo stato dell'arte dell'utilizzo del dato EO per la specifica applicazione e le criticità esistenti. Fin dove possibile, questa analisi va ancora compiuta a livello di applicazione globale. Comparando requisiti utente e tecnologia disponibile, sarà possibile evidenziare i *gap* esistenti e quindi stabilire quali attività di ricerca possono contribuire al loro superamento. In questa fase è importante che siano evidenziati le possibilità d'uso del dato telerilevato, SAR ed ottico, la compatibilità con i requisiti, e – possibilmente – le tecnologie tradizionali (non EO) sussidiarie e/o competitive.

Qui di seguito vengono sintetizzate le attività richieste:

▣ **Task 2.a – Prodotti EO (stato dell'arte)**

Identificare il contributo che i prodotti EO possono dare allo stato dell'arte, al fine di identificare successivamente nella fase progettuale le attività di sviluppo e di ricerca prioritarie.

Definire i prodotti EO nell'ambito dell'applicazione significa specificare al minimo:

- Contesto di riferimento e funzioni d'uso
- Contenuto informativo
- Requisiti di prodotto e di servizio (consolidati assieme all'utente):
 - Risoluzione
 - Scala
 - Accuratezza
 - Delivery mode
- Risorse spaziali richieste

Per tali specifiche si richiede di definire sia un valore di soglia (**threshold**), come limite inferiore delle caratteristiche tecniche al di sotto del quale non vi è utilità nell'utilizzo del parametro, sia un valore ottimo (**optimum**) come il livello al di sopra del quale un'ulteriore miglioramento non porta a miglioramenti apprezzabili.

▣ **Task 2.b – Space segment ed infrastrutture (ottimali/minimali)**

Identificare lo Space Segment (SS) ottimale (e quello minimale) di cui si dovrebbe disporre per fornire i dati EO necessari all'applicazione. Ciò consentirà di individuare i *gap* di informazione (sensori, missioni) tra requisiti conoscitivi dell'utente e stato dell'arte, come requisiti verso lo SS.

▣ **Task 2.c – Validazione e calibrazione**

Identificare le attività di validazione e di calibrazione necessarie per prodotti e servizi.

▣ **Task 2.d – GIS e cartografia**

Consolidare le funzionalità del GIS e specificare la cartografia GIS-based da sviluppare o a cui contribuire con specifiche informazioni di derivazione satellitare. (si veda anche la sezione

2.1.1 Termini di riferimento per prodotti EO e mappe), Ciò significa specificare almeno le seguenti informazioni:

- Contesto di riferimento e funzioni d'uso
- Contenuto informativo
- Specifica della cartografia da produrre (requisiti di prodotto e di servizio)
- Dataset in input (EO – non EO)
- Risorse spaziali richieste

Task 2.e – Modellistica e tecniche di assimilazione

In base alle funzioni d'uso della modellistica nell'ambito dell'applicazione, attraverso l'analisi dello stato dell'arte, identificare sia le attività di sviluppo che quelle di ricerca relative ai modelli, ai prodotti EO per la loro inizializzazione, alle tecniche di assimilazione di dati EO e non EO.

Task 2.f – Dati non-EO

Identificare i dati non-EO di cui sarà necessario disporre nell'ambito del prodotto applicativo, in quanto complementari al dato EO. Là dove possibile, identificare le tecnologie tradizionali competitive rispetto all'uso del dato EO.

Task di Fase 3 – Definizione preliminare Progetti Pilota

La **Fase 3 (Definizione Preliminare Progetti pilota)** rappresenta la definizione del piano di sviluppo per le fasi successive: attività di ricerca, di sviluppo e dimostrazione pre-operativa e formulazione della struttura organizzativa preliminare. Comprende l'analisi dei vincoli di performance, di costo e di pianificazione che le scelte progettuali fatte comportano, ed eventuali proposte di contributi finanziari o "in kind" che ogni componente del raggruppamento proponente intende mettere a disposizione per le eventuali fasi successive.

La durata di riferimento di un progetto pilota è 2-3 anni, comprendendo la dimostrazione pre-operativa.

Task 3.a – Scelta dei progetti pilota

Effettuare la scelta delle soluzioni da proporre per l'implementazione nei progetti pilota, e motivarla (fattibilità tecnico-scientifico-programmatica).

Task 3.b – Attività di dimostrazione pre-operativa e validazione

Definire e disegnare le attività dimostrative, e le attività di validazione e calibrazione da includere nel progetto realizzativo. Le attività necessarie per la definizione preliminare dei casi di studio sono:

- Scelta dei casi di studio significativi per i vari scenari applicativi e progettazione del set-up dei test site (identificazione e raccolta dei dati di background e dei dati ausiliari)
- Definizione e pianificazione delle attività di validazione
- Definizione e pianificazione delle attività di calibrazione
- Definizione e pianificazione delle attività di dimostrazione pre-operativa.

Task 3.c – Ipotesi organizzative per i Progetti Pilota

Formulare la struttura organizzativa preliminare per le successive fasi realizzative, comprendendo eventuali proposte di contributi finanziari o "in kind" che ogni componente

del raggruppamento proponente intende mettere a disposizione per le eventuali fasi successive

☐ Task 3.d – *Piano di sviluppo dei progetti pilota*

Preparare il piano di progetto preliminare, in modo modulare e scalabile, delle attività di sviluppo e di quelle di ricerca relative all'intera applicazione.

☐ Task 3.e – *Necessità e costi*

Identificare tutti i vincoli di costo, pianificazione, organizzazione e utilizzazione che le scelte progettuali comportano, anche in un futuro utilizzo pre-operativo, informazione che servirà come base per l'analisi costi-benefici per i futuri sviluppi. Il contraente è libero di organizzare il proprio lavoro come ritiene più opportuno ai fini dell'ottimizzazione della qualità dei risultati finali.