

# **Ērānshahr. Geomorphological research on the environmental contexts of central-southern Fars and the coast of the Persian Gulf for the establishment of a GIS system as a container for the investigation of man, the environment and society in Arsacid and Sasanian Iran**

## **Progetto di ricerca e piano di attività (biennale: assegno di ricerca annuale 2020-2021 rinnovabile 2021-2022)**

### **1. Introduzione**

La superficie terrestre viene continuamente plasmata da processi geologici come il clima, la tettonica, il vulcanismo, l'erosione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti. Mentre questi processi hanno continuato ad operare fino ai giorni nostri, l'attività antropica ha assunto via via un ruolo sempre più determinante diventando un vero e proprio agente morfogenetico. L'uomo infatti è in grado di modificare radicalmente l'ambiente attraverso l'agricoltura e la costruzione di città, strade, gallerie, canali e altre infrastrutture (Tarolli et al., 2019).

La geomorfologia (lo studio delle forme) interagisce a vari livelli con le città e l'urbanizzazione. In particolare si possono individuare cinque relazioni fondamentali (Reynard et al., 2017): 1) le forme del paesaggio contribuiscono al panorama e all'immagine di una città (p.e. i sette colli di Roma); 2) le morfologie naturali di un'area influiscono sullo sviluppo passato, presente e futuro di una città e delle relative vie di comunicazione; 3) i processi geomorfologici possono portare a fenomeni catastrofici nelle aree urbanizzate dove l'elevata densità abitativa aumenta la vulnerabilità (p.e. frane, alluvioni, ecc); 4) la geomorfologia, così come le altre componenti dell'ambiente naturale, consentono lo sviluppo e il mantenimento di una società tramite i beni di prima necessità (p.e. i materiali da costruzione); 5) l'urbanizzazione rappresenta un vettore di trasformazione e distruzione delle forme del paesaggio (p.e. miniere, tunnel, ecc).

In particolare, gli studi geomorfologici su siti di interesse archeologico seguono due scopi: a) stabilire il contesto fisico del sito in esame, la sua evoluzione nel tempo e la sua influenza sulla nascita e lo sviluppo del sito stesso; b) determinare gli effetti che i processi geomorfologici e antropici attualmente agenti possono avere sui depositi archeologici in modo da valutarne l'integrità (Dudzik et al. 2012). Per ottemperare ai questi due scopi la geomorfologica adotta un approccio multidisciplinare. Tra le tecniche usate ci sono l'interpretazione di fotografie aeree e l'analisi di immagini satellitari e modelli digitali del terreno (DTM), l'utilizzo di investigazioni di tipo geognostico (sondaggi e analisi geofisiche), la consultazione di dati storico-archeologici e di mappe tematiche, il rilevamento geomorfologico di terreno.

Il presente progetto di ricerca si allaccia al filone di studio delle interazioni tra uomo e ambiente e consiste in una caratterizzazione geomorfologica dei siti archeologici del settore centro-meridionale della provincia del Fars (Iran centro-meridionale; Fig. 1), definita come la culla delle dinastie degli Achemenidi (VI-IV secolo a.C.) e dei Sasanidi (III-VII secolo d.C.). In particolare l'area di studio si estende lungo una fascia di territorio compresa tra la piana di Firuzabad a nord e la costa del Golfo Persico a sud (Fig. 2), e il periodo di maggiore interesse, incentrato sulla fondazione di *Ardašīr-Khwarrah* (Firuzabad) è quello dal II al IV secolo d.C.

La configurazione topografica dell'area è dominata da una successione di pieghe ad andamento NO-SE afferenti alla catena dei Monti Zagros e formatesi in seguito alla collisione tra Iran centrale e placca araba (Bigi et al., 2018; Fig. 2). Il sistema di drenaggio ha un pattern a traliccio controllato

da linee di debolezza strutturali e litologia: i fiumi principali scorrono su estese piane alluvionali all'interno delle pieghe sinclinali (Fig. 2) dove, negli ultimi 8 ka, hanno subito numerose avulsioni naturali e modificazioni da parte dell'uomo (Baeteman et al., 2004; Heyvaert, 2007; Heyvaert & Baeteman, 2007; Walstra et al., 2010, 2011).



Figura 1 – Carta fisica dell’Iran (da <https://atlante.unimondo.org/>). I punti neri indicano, da nord a sud, le città di Firuzabad e Gavbandi.



Figura 2 – Immagine satellitare del settore centro-occidentale dell’Iran meridionale (da Google Maps). Il rettangolo rosso evidenzia la striscia di territorio argomento di indagine del presente progetto di ricerca

La piana di Firuzabad si trova a circa 110 km a sud di Shiraz (Fig. 1) e presenta un’ampiezza variabile da 10 a 20 km (Fig. 3). L’elevazione media si attesta intorno ai 1320 m con una pendenza

media del 5%. La configurazione geomorfologica della piana ha subito importanti modificazioni ad opera dell'uomo fin dai tempi della dinastia sasanide (Huff, 2010). L'area infatti secondo le fonti era occupata da una palude o un grande lago che venne drenato da Ardashir I (capostipite della dinastia dei Sasanidi) per fare posto alla nuova città di *Ardašīr-Khwarrah* (*Gur* nel Medioevo; Huff, 2010 e citazioni ivi contenute), primo simbolo della insurrezione e conseguente vittoria contro il re arsacide Ardavan nel primo quarto del III secolo.



Figura 3 – Immagine satellitare della piana di Firuzabad (da Google Maps).

Da un punto di vista strutturale la piana è bordata a ovest dalla faglia di Karebas (Berberian & Tchalenko 1976) e a nord, sud ed est dalle pieghe della catena degli Zagros. La faglia di Karebas segue un andamento N-S e fa parte di un sistema di faglie trascorrente destro che interrompe la continuità delle pieghe con rigetti orizzontali di decine di chilometri (Alavi 1994; Berberian 1995; Piruz et al., 2008; Fig. 4). Sarkarinejad & Zafarmand (2017) riportano 22 eventi sismici avvenuti tra il 1976 e il 2015 lungo la faglia di Karebas con ipocentro compreso principalmente tra 10 e 30 km. Secondo alcuni autori (Berberian 1995; Pirouz et al 2008) l'attività di tale faglia, continua almeno dal Cretaceo, ha favorito l'intrusione di cinque diapiri salini nell'area (Formazione di Hormuz).

L'idrogeologia della regione è caratterizzata da una spessa serie di depositi acquiferi calcarei di età compresa tra l'Oligo-Miocene e il Giurassico e di due altri acquiferi di importanza locale coincidenti con i conglomerati plio-pleistocenici e con i depositi alluvionali quaternari delle pieghe sinclinali (Issar, 1969). La giacitura di tali depositi è importante non solo per la ricarica e lo stoccaggio di acqua in profondità, ma anche per l'emergenza di numerose sorgenti lungo i fianchi delle anticlinali. L'abbondante presenza di queste sorgenti nella piana ha probabilmente favorito la costruzione della città di Gur e influito sulla sua posizione.

Il clima dell'Iran meridionale è semi-arido, caratterizzato da estati calde e asciutte e inverni freddi e moderatamente piovosi. Tuttavia la piana di Firuzabad, trovandosi al confine tra le terre fredde

(*sardsir*) e le terre calde (*garmsir*), presenta un clima più mite (Barthold et al., 1984; Huff, 2010). Nonostante le informazioni climatiche relative alla provincia del Fars siano molto recenti, studi realizzati sui depositi lacustri dei laghi Zeribar e Mirabad hanno dimostrato che le stesse sono rimaste invariate da circa 4.5 ka (Van Zeist & Bottema, 1991; Stevens et al., 2001).

La costa del settore iraniano del Golfo Persico è prevalentemente montuosa, con rilievi coincidenti con le pieghe dei Monti Zagros ad andamento da NO-SE a O-E (Fig. 4). In alcune aree la deposizione di ingenti volumi di depositi alluvionali trasportati dai fiumi costieri ha causato un grande distanziamento tra la linea di costa e i rilievi (Fig. 4).

Mentre il tratto di costa compreso tra Bushehr e Siraf, dove è stato scavato un importante emporio commerciale verisimilmente fondato in epoca tardo-sasanide e poi fiorito soprattutto in epoca islamica tra l'VIII e il XII secolo (Whitehouse 2009), è stato oggetto di molte indagini da parte di diversi gruppi di ricerca e in modo particolare dalla missione del British Institute of Persian Studies attiva a Siraf, il tratto più a sud-est tra Nayband e Jazzeh, prospiciente la valle di Gavbandi (oggi Parsian: cf. Askari Chaverdi, in press) dove scavi iraniani hanno individuato un importante insediamento tardo-arsacide e sasanide, non ha visto sinora nessuna indagine.

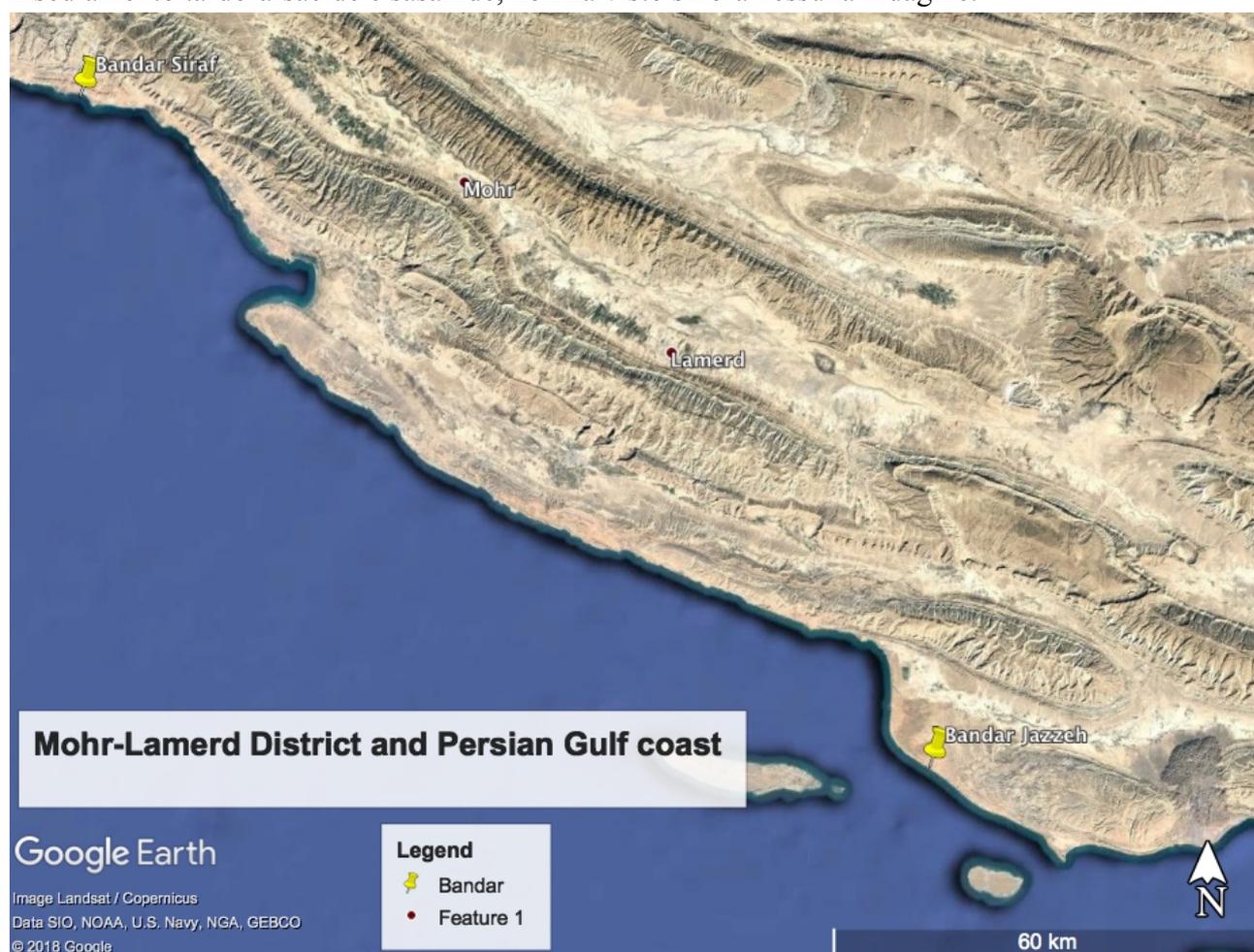


Figura 4 – Immagine satellitare del distretto di Mohr-Lamerd (Fars) e tratto di costa iraniana sul Golfo Persico subito a sud della piana di Firuzabad tra Bandar Siraf e Bandar Jazzeh (province di Bushehr e Hormozgan) (da Google Maps).

La documentazione archeologica sui siti archeologici della piana di Firuzabad, soprattutto sulla città circolare è interessante, mentre quella sul tratto della costa iraniana del Golfo Persico di nostro interesse è pressoché inesistente (Pourkerman et al., 2018 e citazioni ivi contenute); parimenti abbiamo pochissime informazioni sulla geomorfologia delle due aree. Inoltre è completamente

assente uno studio paleoambientale, fondamentale in un'area come quella in esame caratterizzata da importanti cambiamenti soprattutto di natura antropica. Infine rimangono irrisolte due questioni fondamentali: l'individuazione del porto coevo alla fondazione di *Ardašīr-Khwarrah*, necessariamente diverso da Siraf perché la documentazione archeologica di quest'ultimo parte dal V-VI secolo d.C., e l'individuazione del tracciato delle vie di comunicazione, realizzate sfruttando la configurazione topografica dell'area, che collegavano *Ardašīr-Khwarrah* alla costa e in particolare al porto dell'epoca. E' noto un tracciato utilizzato in epoca medievale islamica per collegare Shiraz a Siraf (Rossi, 2018 e citazioni ivi contenute), che fu stato abbandonato nel XII secolo d.C.. Il presente progetto si pone dunque l'obiettivo di colmare le due lacune sopra citate attraverso uno studio geomorfologico di dettaglio della striscia di territorio compresa tra la piana di Firuzabad e il Golfo Persico e del tratto di costa del Golfo Persico tra Nayband e Jazzeh (Fig. 2) e l'elaborazione di un modello evolutivo dell'area sia dal punto di vista geomorfologico che antropico. I risultati permetteranno di scoprire le correlazioni tra uomo e ambiente e di come quest'ultimo abbia influenzato la nascita e lo sviluppo delle aree urbanizzate. Lo studio si avvarrà di un approccio multidisciplinare attraverso l'interpretazione di foto aeree, l'analisi e l'elaborazione di immagini satellitari e di modelli digitali del terreno, la consultazione e il raffronto di documenti storici e mappe e il rilevamento geomorfologico di terreno. Saranno inoltre realizzati un geodatabase e carte tematiche in ambiente GIS.

## 2. Obiettivi

- Caratterizzazione geomorfologica e geologica dell'area in esame attraverso l'identificazione e lo studio delle principali morfologie naturali e antropiche a scala regionale e locale attraverso indagine da remoto (interpretazione di foto aeree ed analisi di immagini satellitari e DTM).
- Acquisizione dei dati ottenuti dall'indagine da remoto in ambiente GIS ed elaborazione di carte tematiche a scala regionale e locale (carta geologica e geomorfologica).
- Realizzazione di una campagna di rilevamento nelle aree di interesse, in modo particolare il tratto di costa del Golfo Persico compreso tra Nayband e Jazzeh, la piana di Firuzabad e le aree dell'entroterra di Gavbandi e di Tomb-e Bot (Mohr-Lamerd district), allo scopo di affinare la caratterizzazione geomorfologica attraverso una mappatura a scala di estremo dettaglio delle morfologie naturali e antropiche e una stratigrafia di dettaglio dei siti archeologici.
- Ricostruzione della rete di comunicazione viaria tra la costa del Golfo Persico (antico porto che dovrebbe essere localizzato a Nayband o tra quest'ultima località e Jazzeh) e la città di Firuzabad, attraverso l'analisi di foto aeree, immagini satellitari e DTM di dettaglio e la consultazione di documenti storici e materiale bibliografico disponibili, che insieme permettano l'individuazione di siti archeologici dislocati lungo tale via. Ricostruzione paleoambientale dell'area di studio attraverso la realizzazione in ambiente GIS di modelli 3D allo scopo di rivelare le interazioni tra processi naturali e attività antropica in un'area, come quella del Fars centro-meridionale, in cui uomo e natura hanno profondamente modificato la configurazione topografica del territorio.
- Realizzazione di un geo-database in ambiente GIS in cui verranno raccolti e georeferiti tutti i dati di natura geomorfologica e archeologica a cui verranno allegate eventuali documentazioni relative a fotografie, stratigrafie, datazioni, indagini geognostiche secondo un sistema di classificazione condiviso con le altre due unità di Sapienza e Torino.

### 3. Metodologia

Per il raggiungimento degli obiettivi sopra elencati il progetto prevede l'utilizzo combinato di tecniche di indagine da remoto e sul terreno. Le prime verranno realizzate in ambiente GIS e tramite l'utilizzo del software MatLab. I dati ottenuti verranno poi comparati e completati grazie alla consultazione di documenti storici e di mappe tematiche disponibili in letteratura.

#### 3.1 Indagini da remoto (*Remote sensing*)

Il *remote sensing* permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, sull'ambiente e sugli oggetti tramite misure di radiazione elettromagnetica, emessa da un sensore, che interagisce con le superfici fisiche di interesse (Lasaponara & Masini, 2012). Negli ultimi decenni tale metodologia ha conosciuto un sensibile aumento di nuove tecniche che hanno permesso l'acquisizione di informazioni sempre maggiori (Tarolli, 2014). Nell'ambito della geomorfologia il *remote sensing* trova la sua applicazione in quattro aree principali (Smith and Pain, 2009): 1) la posizione e la distribuzione delle forme; 2) l'elevazione della superficie terrestre; 3) la composizione della superficie terrestre; 4) la caratterizzazione degli elementi immediatamente al di sotto della superficie.

Nel presente progetto di ricerca verranno utilizzate foto aeree, immagini satellitare e modelli digitali del terreno (DTM).

##### 3.1.1 Foto aeree

Presso il Dipartimento di Scienze dell'Università di Roma Tre, verrà realizzata l'interpretazione di foto aeree dell'area di indagine tramite l'utilizzo di stereoscopia a lenti, specchi e prismi. Per ogni coppia di fotogrammi verranno analizzati il tono/colore, la tessitura, gli allineamenti, la morfologia, l'idrografia. L'analisi del tono permetterà di distinguere diverse forme e litologie in quanto l'uniformità del colore fotografico in un'area indica sempre la presenza di una o più condizioni naturali costanti; ogni variazione del tono indica invece un cambiamento di una condizione naturale. Inoltre, nel caso di foto in bianco e nero, le variazioni di colore da tonalità chiare a tonalità scure possono indicare anche un aumento del contenuto in acqua. La tessitura descrive le variazioni di tono a livello microscopico e si manifesta attraverso una serie di punti o linee ravvicinati di diverso colore. La sua analisi permetterà di evidenziare, ad esempio nel caso di linee, la presenza di una stratificazione delle litologie affioranti oppure l'esistenza di terrazzamenti eseguiti dall'uomo sui versanti. Lo studio degli allineamenti invece consente di mappare fratture e faglie presenti nei corpi rocciosi oppure strade, mura e canali superficiali o sepolti. Le morfologie riflettono le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area e quindi forniscono preziose indicazioni sulla litologia e sull'esistenza di particolari strutture dei corpi rocciosi (p.e. rilievi, versanti, pianori, scarpate, terrazzi, conoidi, calanchi, frane, ecc.). L'analisi del pattern di drenaggio (idrografia) consentirà di analizzare la litologia e le strutture presenti nei corpi rocciosi.

Saranno confrontate foto aeree della stessa area realizzate in anni diversi, rese disponibili dal topografo iraniano del gruppo di ricerca, per verificare i recenti cambiamenti di carattere sia naturale che antropico.

### Immagini satellitari

A dispetto delle limitazioni dovute all'ombra, all'angolo di incidenza o alla mancanza di informazioni topografiche al di sotto della coltre vegetale, le immagini satellitari vengono spesso utilizzate per riconoscere e mappare differenze nella tessitura, il contenuto di umidità e la geometria delle morfologie legate sia a fenomeni naturali che all'attività antropica (p.e. Holcomb, 2001; Fowler, 2002; Ricketson et al., 2003; Holcomb & Shingiray, 2006; Moore et al., 2006; Evans et al., 2007).

Nel presente progetto verranno utilizzate immagini satellitari a media e alta risoluzione spaziale (da 30 a 1 m). Attraverso tecniche di analisi, quali "wavelts", "fusion algorithms" e analisi della tessitura (Tarolli et al., 2019) verranno evidenziati e mappati pattern legati sia ad attività antropiche sia alla configurazione geomorfologica delle aree di indagine.

#### 3.1.2 Modelli digitali del terreno (DTM)

I DTM o DEM (Digital Elevation Model) permettono di visualizzare in formato digitale il pattern di elevazione di una certa area. Il dato topografico può derivare da una serie di sorgenti come laser scanner, mappe topografiche, immagini satellitari, foto aeree (Raseman et al., 2004). Ogni DTM contiene al suo interno informazioni morfologiche (p.e. pendenza, curvatura, esposizione) che sono ampiamente utilizzate per identificare e mappare le forme antropiche (Tarolli et al., 2019).

Allo scopo di realizzare un'indagine a scala regionale e locale dell'area di studio, verranno reperiti DEM con una risoluzione spaziale da medio-alta (30m con un accuratezza verticale di circa 6 m) ad alta (<5 m con una accuratezza verticale di circa 1 m). In ambiente GIS verranno realizzate mappe di hillshade che, simulando le luci e le ombre, evidenziano la presenza di forme all'interno dell'area in esame e permettono una prima classificazione (p.e. Harmon et al., 2006; Menze et al., 2006; Doneus et al., 2008; Bennett et al., 2012; Deforce et al., 2013; Risbøl et al., 2013; Chase et al., 2014; Golden et al., 2016; Johnson & Ouimet, 2016, 2018; Tapete et al., 2017). In alcuni casi le mappe di hillshade possono riscontrare problemi di visualizzazione legati all'esposizione alla luce solare. Kokalj et al. (2013) dimostrano come, al variare dell'angolo di incidenza dei raggi del sole, la mappa di hillshade possa evidenziare o nascondere le morfologie di un'area. Nel caso si presenti questo problema verrà applicata la tecnica dello sky-view factor (SVF; Kokalj *et al.* 2011; Zakšek *et al.* 2011) che permette la realizzazione di una mappa del rilievo a insolazione solare diffusa (Fig. 8b). Lo SVF è un parametro geofisico che misura la porzione di cielo visibile da un certo punto (Kokalj et al., 2013). Tale tecnica, supportata da ulteriori calcoli ed elaborazioni, è stata usata con successo anche in campo geoarcheologico (Challis et al., 2011). Verrà inoltre realizzata la carta del reticolo di drenaggio attraverso l'estrazione della "flow direction", che permette di individuare le principali direzioni di flusso, e della "flow accumulation", che calcola il flusso accumulato in ogni impluvio presente nell'area di indagine. Tale tecnica, applicata ad un DEM ad alta risoluzione permetterà di visualizzare tutti i canali e gli impluvi di origine naturale e antropica e di analizzare le interrelazioni tra questi e i siti archeologici.

Attraverso le tecniche di "detrending", verranno realizzati dei filtri "passa basso" della topografia che permetteranno, rimuovendo le asperità, di individuare allineamenti e forme (come fratture o faglie, forme legate al drenaggio, mura o fossi) normalmente poco visibili. Infatti le forme di interesse archeologico hanno generalmente una scala molto più piccola di quella

relativa alle forme del paesaggio su cui si trovano. La superficie risultante può essere inoltre sottratta al DTM originale per ottenere una mappa del rilievo locale (LRM; Kokalj et al., 2013) nella quale le variazioni di quota legate alle morfologie a grande scala sono rimosse.

Infine, qualora siano disponibili foto aeree e/o mappe topografiche multitemporali della stessa area, verranno realizzati modelli digitali del terreno che in seguito, tramite sottrazione algebrica in ambiente GIS, verranno confrontati per quantificare le variazioni di elevazioni recenti causate da processi naturali o antropici. I risultati di tale analisi rivestono una notevole importanza per quanto riguarda la salvaguardia dei siti archeologici e per una previsione a breve termine della possibile evoluzione delle aree interessate, compresa una valutazione degli eventuali rischi di carattere naturale o antropico.

### ***3.2 Dati supplementari***

Alle metodologie e ai prodotti sopra descritti verranno affiancati dati supplementari, disponibili in letteratura e negli archivi storici, che permetteranno di valutare l'accuratezza delle analisi svolte e rappresenteranno importanti sorgenti di dati utili ad arricchire i risultati delle analisi sopra elencate e quindi il geo-database. Tra i più importanti ci sono carte topografiche a scala da medio-alta ad alta, mappe geologiche del basamento sedimentario e delle formazioni quaternarie, dati geologico-strutturali, dati geofisici (dati gravimetrici, aeromagnetici, elettrici, sismici) e documenti storici.

### ***3.3 Indagini di terreno***

I risultati ottenuti con le suddette metodologie consentiranno di pianificare in modo mirato delle campagne di indagine sul terreno.

Nella piana di Firuzabad si prevede un'estesa campagna di rilevamento geomorfologico nei siti archeologici principali e nelle aree limitrofe allo scopo di realizzare una stratigrafia di dettaglio e una mappatura a scala locale delle principali morfologie. Verranno individuate, tramite la consultazione di documentazione storica disponibile, le principali opere antropiche che hanno modificato il paesaggio come dighe, canali, tunnel, cave. Lo scopo principale è quello di validare quanto rilevato da remoto e aggiungere nuovi dettagli per la ricostruzione paleoambientale dell'area. Particolare attenzione sarà dedicata alle forme legate a tettonica recente. Infatti, come descritto nell'introduzione, la piana è bordata ad ovest dalla faglia attiva di Karebas che ha registrato negli ultimi 50 anni più di 20 terremoti (Sarkarinejad & Zafarmand, 2017). Diversi studi (King et al. 1994; Montgomery et al., 2003; Cox et al., 2012; Weingarten and Ge, 2014; Mohr et al., 2012, 2017; He et al., 2017; Liu et al., 2018) dimostrano che, al di là degli evidenti danni a cose e persone, un terremoto è in grado di modificare anche la configurazione idrogeologica di un'area aumentando o diminuendo il livello piezometrico della falda acquifera e la portata delle sorgenti e dei fiumi. Tali fenomeni influiscono pesantemente sulle attività antropiche e sullo stile di vita apportando modifiche sostanziali anche al processo di urbanizzazione. Si cercherà pertanto di associare le eventuali morfologie tettoniche con eventi sismici del passato attraverso la consultazione della documentazione storica disponibile.

Nell'area costiera verrà realizzato un rilevamento di dettaglio dei tratti relativo sia all'antico porto di Nayband sia dell'area a sud di questo con il fine di individuare possibili porti e approdi collegati a insediamenti di epoca arsacide e proto-sasanide. Questa regione, come gran parte della costa iraniana del Golfo Persico, è sismicamente attiva (Kalaneh & Agh-Atabai, 2016). L'attività tettonica, legata alla collisione della placca araba con quella euro-asiatica, può aver provocato il

sollevamento o l'abbassamento della linea di costa generando particolari morfologie come diversi livelli di solchi di battigia, terrazzi marini e superfici di erosione. Inoltre la presenza di resti archeologici sommersi o sopraelevati rispetto alla loro posizione originale possono aiutare a datare un particolare evento di sollevamento/abbassamento del livello del mare e quindi calcolare i tassi relativi. I dati archeologici vengono utilizzati come indicatori di variazioni del livello del mare dagli anni '70 (Flemming, 1969; Schmiedt, 1974; Flemming & Webb, 1986) e sono stati particolarmente efficaci nei siti di età romana del Mediterraneo (Pirazzoli, 1976; Flemming & Webb, 1986; Anzidei et al., 2003; Tallarico et al., 2003; Lambeck et al., 2004; Fouache & Pavlopoulos, 2005; Antonioli et al., 2007; Desruelles et al., 2009; Brückner et al., 2010; Anzidei et al., 2013). Un recente lavoro nel sito di Siraf, utilizzato solo a partire dal periodo (medio?) e tardo-sasanide, (Khakzad et al., 2015) riporta la presenza di numerosi resti archeologici sotto il livello marino. Gli autori, considerando il tasso di sollevamento del livello marino negli ultimi 30 anni (circa 2.2 mm/a), ipotizzano che le strutture di Siraf più vicine al mare possano aver risentito dell'innalzamento del livello del mare progressivamente o in seguito a violenti terremoti. Tuttavia non viene esclusa la possibilità che tali resti siano stati erosi dal moto ondoso e portati in acqua successivamente. Verranno quindi ricercate le morfologie naturali o antropiche che consentano di quantificare il tasso di sollevamento/abbassamento avvenuto lungo la costa di Nayband e delle aree limitrofe più a sud e di comprendere come questi avvenimenti abbiano inciso sullo sviluppo degli insediamenti.

### **3.4 Campionamento e datazioni assolute**

Durante la campagna di rilevamento geomorfologico sul terreno verrà realizzato un campionamento volto a caratterizzare (studio microscopico) e datare (datazione assoluta) i depositi. In particolare il metodo di radiazione assoluta verrà scelto in funzione della tipologia di deposito campionato, della quantità di materiale necessario, del limite temporale e del grado di affidabilità della metodologia stessa (p.e. C-14, OSL, U/Th, Ar-Ar, tracce di fissione, datazione con cosmogenici, ecc). Ciò permetterà di datare le principali morfologie cartografate durante il rilevamento e di vincolare in modo più preciso la ricostruzione paleoambientale.

## **4. Risultati attesi**

Il presente progetto di ricerca fornirà un sostanziale contributo nella comprensione del rapporto tra uomo e ambiente nell'Iran di epoca arsacide e sasanide in un'epoca (II secolo a.C.-VII secolo d.C.) caratterizzata da importanti cambiamenti politici e sociali.

Di seguito vengono elencati i principali risultati attesi.

- La caratterizzazione geomorfologica dei principali siti archeologici compresi nella fascia di territorio tra la piana di Firuzabad e la costa del Golfo Persico consentirà di definire le caratteristiche geomorfologiche che hanno favorito la fondazione e lo sviluppo di città come *Ardašīr-Xwarrah* e del/dei porti attivi prima della fondazione di *Siraf* in epoca tardo-sasanide.
- 
- Lo studio geomorfologico dell'area di studio attraverso foto aeree, immagini satellitari e DTM

consentirà di individuare i percorsi più probabili su cui si snoda la rete viaria che collegava la città di Firuzabad alla costa del Golfo Persico prima della fondazione del porto di Siraf intorno al VI secolo e di cui tuttora non si conoscono né i tracciati né la collocazione di porti e approdi.

- La cartografia geomorfologica di dettaglio fornirà l'occasione per analizzare i processi geomorfologici in atto e quantificare il rischio idrogeologico dei siti di interesse archeologico. Sarà possibile, in caso di un eventuale rischio, fornire alle autorità tutti i dati ottenuti e suggerire possibili soluzioni ai problemi riscontrati.
- Tramite la ricostruzione paleoambientale si tratterà la configurazione topografica delle aree studio al tempo dei primi insediamenti e fornirà la possibilità di confronto tra passato e presente per quantificare i mutamenti avvenuti. La realizzazione del geodatabase permetterà di riunire in un unico contenitore tutti i dati di carattere geomorfologico e archeologico relativi ai siti archeologici indagati.

I dati ottenuti dal presente progetto di ricerca verranno divulgati tramite la scrittura di articoli scientifici e la partecipazione a convegni e seminari. La cartografia realizzata in ambiente GIS verrà inoltre messa a disposizione delle autorità locali e fornirà un valido ed indispensabile strumento per la pianificazione ambientale. Il geodatabase rappresenterà infine un'importante fonte di dati per chiunque voglia studiare le aree in esame; la sua struttura garantirà un continuo e, potenzialmente, infinito aggiornamento con l'aggiunta di nuovi contenuti.

## Riferimenti bibliografici

- Alavi, M. (1994). Tectonics of the Zagros Orogenic belt: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211–238.
- Antonioli, F., Anzidei, M., Lambeck, K., Auriemma, R., Gaddi, D., Furlani, S., Orru, P., Solinas, E., Gaspari, A., Karinja, S., Kovacic, V., & Surace, L. (2007). Sea level change during Holocene from Sardinia and northeastern Adriatic (Central Mediterranean sea) from archaeological and geomorphological data. *Quaternary Science Reviews*, 26, 2463e2486.
- Anzidei, M., Lambeck, K., Antonioli, F., Baldi, P., Benini, A., Esposito, A., Nobili, A., & Surace, L. (2003). Sea level change from Roman time up to the present in Central Mediterranean. In: Mastronuzzi, G., Sansò, P. (Eds.), Puglia 2003-Final conference. Quaternary Coastal Morphology and Sea Level Changes, IGCP 437 Project, Otranto/Taranto - Puglia (Italy) 22-28 September 2003, pp. 27-39.
- Anzidei, M., Antonioli, F., Benini, A., Gervasi, A., & Guerra, I. (2013). Evidence of vertical tectonic uplift at Briatico (Calabria, Italy) inferred from Roman age maritime archaeological indicators. *Quaternary International*, 288, 158-167.
- Askari Chaverdi, A. (in stampa) Preliminary report on the 2017-2018 excavation seasons at Gavbandi (Hormozgan province, Iran).
- Baeteman, C., Dupin, L., & Heyvaert, V.M.A. (2004). The Persian Gulf Shorelines and the Karkheh, Karun, and Jarrahi Rivers: A Geo-Archaeological Approach: First Progress Report. 1. Geo-Environmental Investigation. *Akkadica* 125: 155–215.
- Barthold, V., Soucek, S., & Bosworth, C. (1984). *An Historical Geography of Iran*. Princeton (N.J.): University Press.
- Bennett, R., Welham, K., Hill, R.A., et al. (2012). A comparison of visualization techniques for models created from airborne laser scanned data. *Archaeological Prospection*, 19(1), 41–48.
- Berberian, M. (1995). Master ‘blind’ thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface tectonics surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193–224.
- Berberian, M., & Tchalenko, J.S. (1976). Earthquakes of the southern Zagros (Iran): Bushehr region. *Geol. Surv. Iran*, 39, 343–370.
- Bigi, S., Carminati, E., Aldega, L., Trippetta, F., & Kavooosi, M. A. (2018). Zagros fold and thrust belt in the Fars province (Iran) I: Control of thickness/rheology of sediments and pre-thrusting tectonics on structural style and shortening. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 211-224.
- Boulton, S. J., & Stewart, I. S. (2015). Holocene coastal notches in the Mediterranean region: Indicators of palaeoseismic clustering?. *Geomorphology*, 237, 29-37.
- Brückner, H., Kelterbaum, D., Marunchak, O., Porotov, A., & Vött, A. (2010). The Holocene sea level story since 7500 BP e Lessons from the Eastern Mediterranean, the Black and the Azov Seas. *Quaternary International*, 225 (2), 160-179.
- Challis, K., Forlin, P., & Kincey, M. (2011). A generic toolkit for the visualization of archaeological features on airborne LiDAR elevation data. *Archaeological Prospection*, 18(4), 279-289.
- Chase, A., Chase, D., Awe, J., et al. (2014). Ancient Maya regional settlement and inter-site analysis: The 2013 West-Central Belize LiDAR survey. *Remote Sensing*, 6(9), 8671–8695.
- Cox, S.C., Rutter, H.K., Sims, A., Manga, M., Weir, J.J., Ezzy, T., et al. (2012). Hydrological effects of the MW 7.1 Darfield (Canterbury) earthquake, 4 September 2010, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 55(3), 231–247.
- Deforce, K., Boeren, I., Adriaenssens, S., et al. (2013). Selective woodland exploitation for charcoal production. A detailed analysis of charcoal kiln remains (ca. 1300–1900 AD) from Zoersel (northern Belgium). *Journal of Archaeological Science*, 40(1), 681–689.
- Desruelles, S., Fouache, E., Ciner, A., Dalongeville, R., Pavlopoulos, K., Kosun, E., Coquinot, Y., Potdevin, J.L. (2009). Beachrocks and sea level changes since Middle Holocene: comparison between the insular group of Mykonos-Delos-Rhenia (Cyclades, Greece) and the southern coast of Turkey. *Global and Planetary Change*. ISSN: 0921-8181 66 (1e2). ISSN: 0921-8181, 19e33. doi:10.1016/j.gloplacha.2008.07.009. Quaternary sea level changes: records and processes.
- Doneus, M., Briese, C., Fera, M., et al. (2008). Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science*, 35(4), 882–893.
- Dudzik, M.J., Tiffany, J.A., & Stevenson, K.P. (2012). Guide for public Archeology in Wisconsin. *Wisconsin archeological survey*.
- Evans, D.H., Pottier, C., Fletcher, R., et al. (2007). A comprehensive archaeological map of the world’s largest preindustrial settlement complex at Angkor, Cambodia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(36), 14277–14282.
- Flemming, N.C. (1969). Archaeological evidence for eustatic changes of sea level and earth movements in the Western Mediterranean in the last 2000 years. *Special Paper e Geological Society of America*, 109, 1-125.
- Flemming, N.C., & Webb, C.O. (1986). Tectonic and eustatic coastal changes during the last 10,000 years derived from archaeological data. *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. (Suppl. 62)*, 1-29.

- Fouache, E., Pavlopoulos, K. (2005). Sea Level Changes in Eastern Mediterranean during Holocene. Indicators and Human Impacts. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementbände, vol. 137, p. 193.
- Fowler, M.J.F. (2002). Satellite remote sensing and archaeology: A comparative study of satellite imagery of the environs of Figsbury Ring, Wiltshire. *Archaeological Prospection*, 9(2), 55–69.
- Genito, B. (2016). A modern archaeology of the Sasanian period: former limitations and new perspectives. *Newsletter di Archeologia CISA*, 7, 35–88.
- Golden, C., Murtha, T., Cook, B., et al. (2016). Environmental LiDAR data for archaeology: Mesoamerican applications and reanalyzing implications. *Journal of Archaeological Science*, Reports 9, 293–308.
- Harmon, J.M., Leone, M.P., Prince, S.D., et al. (2006). LiDAR for archaeological landscape analysis: A case study of two eighteenth-century Maryland plantation sites. *American Antiquity*, 71(4), 649–670.
- Hassanpour, J., Jahani, S., Ghassemi, M. R., Alavi, S. A., & Zeinali, F. (2018). Evolution of the Karebas Fault System and adjacent folds, central Zagros fold-and-thrust belt, Iran: Role of pre-existing halokinesis (salt structures and minibasins) and detachment levels. *Journal of Asian Earth Sciences*, 164, 125–142.
- He, A., Zhao, G., Sun, Z., & Singh, R.P. (2017). Co-seismic multilayer water temperature and water level changes associated with Wenchuan and Tohoku-Oki earthquakes in the Chuan no. 03 well, China. *Journal of Seismology*, 21(4), 719–734.
- Heyvaert, V.M.A. (2007). Fluvial Sedimentation, Sea-Level History and Anthropogenic Impact in the Great Mesopotamian Plain: A New Holocene Record. *unpublished PhD thesis*. Brussels: Vrije Universiteit Brussel.
- Heyvaert, V.M.A., & Baeteman, C. (2007). Holocene Sedimentary Evolution and Palaeocoastlines of the Lower Khuzestan Plain (southwest Iran). *Marine Geology* 224: 83–108.
- Holcomb, D.W. (2001). Imaging radar and archaeological survey: An example from the Gobi Desert of Southern Mongolia. *Journal of Field Archaeology*, 28(1/2), 131.
- Holcomb, D.W., & Shingiray, I.L. (2006). Imaging radar in archaeological investigations: An image processing perspective. In: James, R.W. & Farouk, E. (eds). *Remote Sensing in Archaeology*. New York: Springer New York, pp. 11–45.
- Huff, D. (2010). Formation and Ideology of the Sasanian State in the context of Archaeological Evidence. In: Curtis, V.S. & Stewart, S. (eds.). *The Idea of Iran*, 3, 31–59.
- Issar, A. (1969). The groundwater provinces of Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 14(1), 87–99.
- Johnson, K.M., & Ouimet, W.B. (2016). Physical properties and spatial controls of stone walls in the northeastern USA: Implications for Anthropocene studies of 17th to early 20th century agriculture. *Anthropocene*, 15, 22–36.
- Johnson, K.M., & Ouimet, W.B. (2018). An observational and theoretical framework for interpreting the landscape palimpsest through airborne LiDAR. *Applied Geography*, 91, 32–44.
- Kalaneh, S., & Agh-Atabai, M. (2016). Spatial variation of earthquake hazard parameters in the Zagros fold and thrust belt, SW Iran. *Natural Hazards*, 82(2), 933–946.
- Khakzad, S., Trakadas, A., Harpster, M., & Wittig, N. (2015a). Maritime aspects of medieval Siraf, Iran: A pilot project for the investigation of coastal and underwater archaeological remains. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 44(2), 258–276.
- King, C.-Y., Basler, D., Presser, T. S., Evans, W. C., & White, L. D. (1994). In search of earthquake-related hydrologic and chemical changes along Hayward fault. *Applied Geochemistry*, 9(1), 83–91.
- Kokalj, Ž., Zakšek, K., & Oštir, K. (2011). Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models. *Antiquity*, 85(327), 263–273.
- Kokalj, Ž., Zakšek, K., & Oštir, K. (2013). Visualizations of LiDAR derived relief models. Interpreting archaeological topography—airborne laser scanning, aerial photographs and ground observation, 100–114.
- Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A., Silenzi, S., 2004. Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs. *Quaternary Science Review* 23, 1567–1598.
- Lasaponara, R., & Masini, N. (2012). *Satellite remote sensing: A new tool for archaeology* (Vol. 16). Springer Science & Business Media.
- Liu, C. Y., Chia, Y., Chuang, P. Y., Wang, C. Y., Ge, S., & Teng, M. H. (2018). Streamflow Changes in the Vicinity of Seismogenic Fault After the 1999 Chi–Chi Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 175(7), 2425–2434.
- Menze, B.H., Ur, J.A., & Sherratt, A.G. (2006). Detection of ancient settlement mounds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), 321–327.
- Mohr, C. H., Manga, M., Wang, C. Y., & Korup, O. (2017). Regional changes in streamflow after a megathrust earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 458, 418–428.
- Mohr, C. H., Montgomery, D. R., Huber, A., Bronstert, A., & Iroume, A. (2012). Streamflow response in small upland catchments in the Chilean coastal range to the MW 8.8 Maule earthquake on 27 February 2010. *Journal of Geophysical Research*, 117(F2), F02032.
- Montgomery, D. R., Greenberg, H. M., & Smith, D. T. (2003). Streamflow response to the Nisqually earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 209(1–2), 19–28.
- Moore E, Freeman T and Hensley S (2006) Spaceborne and airborne radar at Angkor: Introducing new technology to the ancient site. In: Wiseman, J.R. & El-Baz, F. (eds). *Remote Sensing in Archaeology*. New York: Springer New

- York, 185–216.
- Pirazzoli, P.A. (1976). Sea level variations in the northwest Mediterranean during Roman times. *Science* 194, 519-521.
  - Pirouzi, M., Bahroudi, A., Ghasemi, M.R., & Saeidi, A. (2008). Structural evolution of the basement and activity of salt structures in Firuzabad Area, Fars. *Sci. Q. J., Geosci.*, 17, 40–55.
  - Pourkerman, M., Marriner, N., Morhange, C., Djamali, M., Amjadi, S., Lahijani, H., ... & Shah-Hoesseini, M. (2018). Tracking shoreline erosion of “at risk” coastal archaeology: the example of ancient Siraf (Iran, Persian Gulf). *Applied geography*, 101, 45-55.
  - Raseman, S., Schimdt, J., Schrott, L., Dikau, R. (2004). Geomorphometry in mountain terrain. In: Bishop, M.P. & Shroder, J.F. (Eds.), *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*. Springer-Praxis, Berlin, pp. 101–137.
  - Reynard, E., Pica, A., & Coratza, P. (2017). Urban geomorphological heritage. An overview. *Quaestiones geographicae*, 36(3), 7-20.
  - Ricketson, O., Kidder, A.V., Jones, J.G., et al. (2003). An archeological reconnaissance by air in Central America. *Geographical Review* 20(2), 177.
  - Risbøl, O., Bollandsacs, O.M., Nesbakken, A., et al. (2013). Interpreting cultural remains in airborne laser scanning generated digital terrain models: Effects of size and shape on detection success rates. *Journal of Archaeological Science* 40(12), 4688–4700.
  - Rossi, D. (2018). A Road to Firuzabad. *Journal of Archeology*, 3, 79-100.
  - Sarkarinejad, K., & Zafarmand, B. (2017). Stress state and movement potential of the Kar-e-Bas fault zone, Fars, Iran. *Journal of Geophysics and Engineering*, 14(4), 998-1009.
  - Schmiedt, G. (1974). Il livello antico del mar Tirreno. Testimonianze da Resti Archeologici. E. Olschki, Firenze, pp. 323.
  - Smith, M. J., & Pain, C. F. (2009). Applications of remote sensing in geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 33(4), 568-582.
  - Stevens, L.R., Wright, H.E., & Ito, E. (2001). Changes in seasonality of climate during the Lateglacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran. *The Holocene*, 11, 747-756.
  - Tallarico, A., Dragoni, M., Anzidei, M., Esposito, A. (2003). Modeling long-term ground deformation due to the cooling of a magma chamber: case of Basiluzzo island, Aeolian Islands, Italy. *Journal of Geophysical Research*, 108(B12), 2568. doi:10.1029/2002JB002376.
  - Tapete, D., Banks, V., Jones, L., et al. (2017). Contextualising archaeological models with geological, airborne and terrestrial LiDAR data: The Ice Age landscape in Farndon Fields, Nottinghamshire, UK. *Journal of Archaeological Science*, 81, 31–48.
  - Tarolli, P. (2014). High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges. *Geomorphology*, 216, 295-312.
  - Tarolli, P., Cao, W., Sofia, G., Evans, D., & Ellis, E. C. (2019). From features to fingerprints: A general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(1), 95-128.
  - van Zeist, W., & Bottema, S. (1991). Late Quaternary Vegetation of the Near East. Beihefte zurn Tiibinger Atlas des Vorderen Orients 18, Wiesbaden, Germany, Reichert.
  - Walstra, J., Heyvaert, V.M.A., & Verkinderen, P. (2010). Assessing Human Impact on Fan Development Using Satellite Images: A Case-Study from Lower Khuzestan (SW Iran). *Geodinamica Acta* 23: 267–285.
  - Walstra, J., Heyvaert, V.M.A., & Verkinderen, P. (2011). Mapping the alluvial landscapes of Lower Khuzestan (SW Iran). In: Smith, M.J., Paron, P. and Griffith, J.S. (eds.). *Geomorphological Mapping: A Professional Handbook of Techniques and Applications*. Amsterdam: Elsevier, 551–575.
  - Weingarten, M., & Ge, S. (2014). Insights into water level response to seismic waves: a 24 year high-fidelity record of global seismicity at Devils Hole. *Geophysical Research Letters*, 41(1), 74–80.
  - Whitehouse, D. (2009) *Siraf: History, Topography and Environment*. Oxford.
  - Zakšek, K., Oštir, K., & Kokalj, Ž. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote sensing*, 3(2), 398-415.

## Piano di attività

L'attività di ricerca verrà svolta presso il Dipartimento di Beni Culturali dell'Università di Bologna, campus di Ravenna e presso il Dipartimento di Scienze dell'Università degli studi di Roma Tre, grazie alla collaborazione avviata con la cattedra del prof. Claudio Faccenna. Il progetto prevede due fasi, di un anno ciascuna, fortemente interconnesse e inseparabili.

Come è possibile osservare dalle tabelle sottostanti le attività del primo anno consisteranno principalmente nella raccolta dei dati ottenuti dalla consultazione di materiale disponibile in letteratura e nell'analisi in ambiente GIS di foto aeree, immagini satellitari e modelli digitali del terreno.

Il secondo anno invece è incentrato sull'elaborazione in ambiente GIS dei dati ottenuti durante la prima fase attraverso la realizzazione dei prodotti cartografici (carta geomorfologica di dettaglio) e della ricostruzione paleoambientale. Verrà svolta in questo periodo anche la campagna di rilevamento geomorfologico di terreno con eventuali datazioni radiometriche. Infine durante tutto il secondo anno si prevede di strutturazione e completamento del geodatabase in concerto con le altre due unità di Sapienza e Torino.

Le attività previste sono le seguenti, divise per anno e per mensilità (v. tabelle)

### ATTIVITA' DEL I ANNO

- 1 - Ricerca bibliografica di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, archeologico relativa all'area di studio.
- 2 - Reperimento di carte topografiche, foto aeree, immagini satellitari, modelli digitali del terreno a scala regionale e locale.
- 3 - Digitalizzazione e georeferenziazione del materiale cartografico da letteratura in ambiente GIS e realizzazione di carte geologica ed idrogeologica regionali.
- 4 - Interpretazione delle foto aeree e digitalizzazione in ambiente GIS dei risultati.
- 5 - Elaborazione e analisi delle immagini satellitari in ambiente GIS e MatLab.
- 6 - Elaborazione e analisi dei modelli digitali del terreno in ambiente GIS.

I anno

n°	Attività	I° mese	II° mese	III° mese	IV° mese	V° mese	VI° mese	VII° mese	VIII° mese	IX° mese	X° mese	XI° mese	XII° mese
1	Ricerca bibliografica di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, archeologico relativa all'area di studio												
2	Reperimento di carte topografiche, foto aeree, immagini satellitari, modelli digitali del terreno a scala regionale e locale												
3	Digitalizzazione e georeferenziazione del materiale cartografico da letteratura in ambiente GIS e realizzazione di carte geologica ed idrogeologica regionali												
4	Interpretazione delle foto aeree e digitalizzazione in ambiente GIS dei risultati												
5	Elaborazione e analisi delle immagini satellitari in ambiente GIS e MatLab												
6	Elaborazione e analisi dei modelli digitali del terreno in ambiente GIS												

## ATTIVITA' DEL II ANNO

- 1 - Realizzazione di mappe a scala locale e regionale in ambiente GIS attraverso l'elaborazione di tutti i dati ricavati nelle 2 - precedenti attività.
- 2 - Campagna di rilevamento geomorfologico sul campo.
- 3 - Elaborazione dei dati rilevati sul terreno in ambiente GIS e realizzazione delle versioni definitive delle mappe tematiche.
- 4 - Eventuali datazioni radiometriche sui campioni prelevati durante la campagna di rilevamento.
- 5 - Elaborazione di un modello 3D di evoluzione del paesaggio che tenga conto dei dati ricavati dalle investigazioni da remoto e sul terreno.
- 6 - Realizzazione del geo-database.

**II anno**

<b>n°</b>	<b>Attività</b>	<b>I° mese</b>	<b>II° mese</b>	<b>III° mese</b>	<b>IV° mese</b>	<b>V° mese</b>	<b>VI° mese</b>	<b>VII° mese</b>	<b>VIII° mese</b>	<b>IX° mese</b>	<b>X° mese</b>	<b>XI° mese</b>	<b>XII° mese</b>
1	Realizzazione di mappe a scala locale e regionale in ambiente GIS attraverso l'elaborazione di tutti i dati ricavati nelle precedenti attività												
2	Campagna di rilevamento geomorfologico sul campo												
3	Elaborazione dei dati rilevati sul terreno in ambiente GIS e realizzazione delle versioni definitive delle mappe tematiche												
4	Eventuali datazioni radiometriche sui campioni prelevati durante la campagna di rilevamento												
5	Elaborazione di un modello 3D di evoluzione del paesaggio che tenga conto dei dati												

