



**Il ruolo attuale del geologo nella progettazione delle
grandi opere idrauliche.
*Case history in Oman***

*Geol. Guido Paliaga, PhD
Geol. Luciano Minetti*

Acqua: risorsa e fattore di pericolosità

L'interazione tra dinamiche naturali e dinamiche antropiche è sovente causa di conflitti e problemi.

“La geologia ambientale è l'applicazione dei principi geologici ai problemi creati dall'insediamento sul territorio e dallo sfruttamento del territorio da parte dell'uomo”

(American Geological Institute)

Risorse idriche



attenta e precisa valutazione e pianificazione.

Espansione delle attività sul territorio



frequente esposizione ad elevati livelli di rischio.



Necessità di realizzare opere idrauliche finalizzate alla riduzione del rischio e/o all'espansione di risorse



Il geologo interviene nelle diverse fasi legate alla realizzazione: da quelle propedeutico/localizzative e di pianificazione a quelle specialistiche.

Individuazione di un sito di realizzazione di una diga.

- Analisi:
 - Geomorfologiche
 - Geologiche
 - Idrogeologiche
 - Geotecniche
 - Geochimiche
- Valutazione della disponibilità dei materiali da costruzione
- Studio dell'impatto ambientale e della sostenibilità ambientale ed economica dell'opera

Strumenti di analisi e di indagine indiretta: modellazione 3D, remote sensing, GIS.

Modellazione 3D:

- Supporto alla valutazione dell'individuazione del sito
- Interpretazione delle forme superficiali
- Studi quantitativi di supporto alla progettazione idraulica
- Simulazione: inserimento dello sbarramento nel modello

Oman case history

Studio geomorfologico finalizzato alla realizzazione di un sistema di mitigazione del rischio da inondazione della città di Muscat, Sultanato di Oman.

Ministry of Regional Municipality and Water Resources

Sering International

DHI Italia

OAC Ingegneria

1a fase: studio del sistema di mitigazione - scelta siti diga - e progettazione preliminare.

- Field survey
- Analisi indirette: modellazione 3D, GIS, remote sensing
- Interfacciamento con modellazione idrologica e idraulica e la progettazione preliminare



Inquadramento: geomorfologia - geologia

Territorio in gran parte desertico (serir) appartenente alla fascia tropicale.

Catene montuose:

Nord (Qmax>2000m slmm)

Sud (Dhofar)

Ampie **piane costiere** (golfo di Oman)

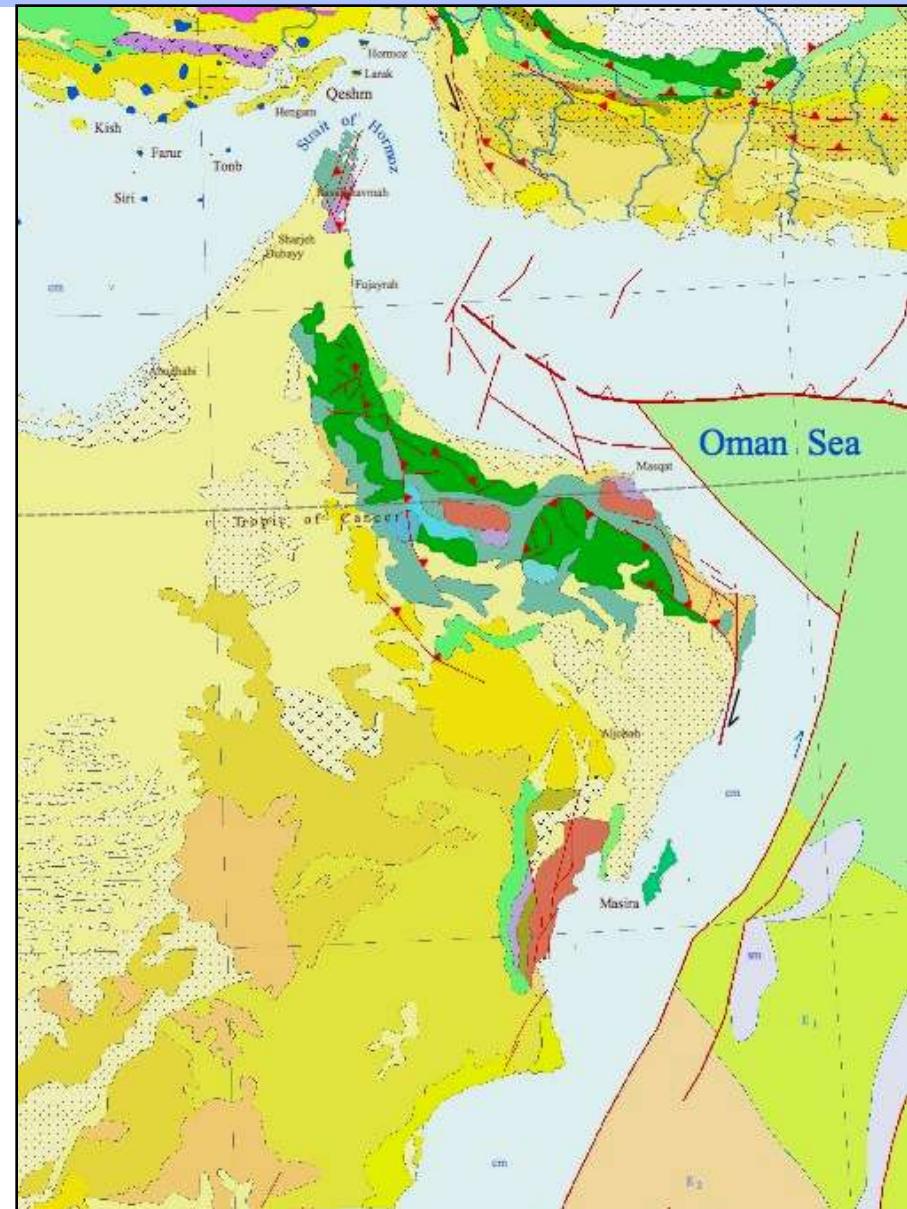
Le zone montuose sono solcate da un fitto e complesso **reticolo di Wadi**.

La catena settentrionale: **zona di obduzione** - thrust di crosta oceanica e sedimenti oceanici profondi sulla piattaforma continentale arabica.

Complesso assetto geologico-strutturale.

Hawasina nappe: successioni carbonatiche terziarie

Samail nappe: ofioliti



Bacini idrografici di Al Ansab e Al Jifnain: geomorfologia - geologia

I due bacini presentano caratteri morfologici simili.

Ampia piana costiera - braided wadi.

Due sistemi montuosi a breve distanza dal mare raccordati da una piana interna. Forti rotture di pendenza.

La piana interna e quella costiera sono raccordate da strette soglie.

Versanti estremamente acclivi; presenza di scarpate.



Bacino	Quota massima (m slmm)		Distanza media dalla costa (km)	
	Al Ansab	Al Jifnain	Al Ansab	Al Jifnain
Prima catena montuosa	330	370	11	12
Seconda catena montuosa	1391	1443	24	24

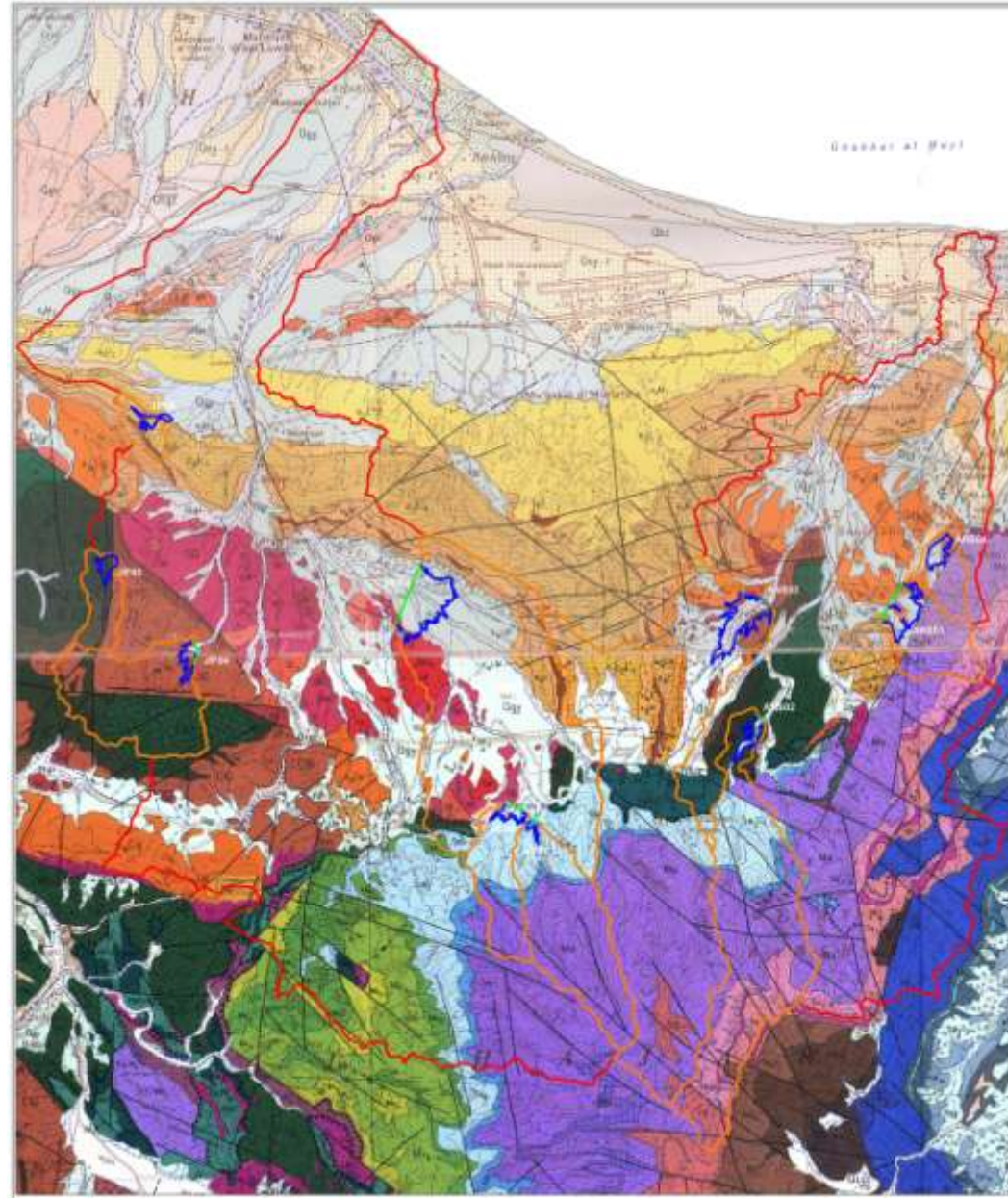
Bacini idrografici di Al Ansab e Al Jifnain: geomorfologia - geologia

Il controllo della tettonica sulle forme superficiali appare evidente:

- Struttura dei reticoli idrografici
- Forma dei bacini idrografici
- Faccette triangolari di origine tettonica.

L'elevata pendenza dei versanti è ascrivibile in parte a cause tettoniche ed in parte a cause litologiche.

Sistema morfogenetico dominato dall'azione tettonica.



Idrogeologia



Inquadramento: clima

Clima subtropicale secco, desertico - BWh secondo Koeppen-Geiger.

Forte differenza tra la costa e l'entroterra (inerzia termica del mare, effetto della quota); umidità più elevata lungo la costa, in particolare nella stagione estiva.

Escursioni termiche diurne e stagionali elevate nelle zone montuose.

Zone interne (estate): T_{\max} fino a 50°C .

Muscat (inverno): $T_{\max} = 26^{\circ}\text{C}$ $T_{\min} = 15^{\circ}\text{C}$

Piuvosità estremamente ridotta: occasionali fenomeni durante l'inverno.

- Lungo la costa: $P = (20-100)$ mm/anno
- Zone montuose: fino a 700 mm/anno; circa 300 mm/anno sui rilievi a sud di Muscat

Occasionale (?) incidenza dei cicloni tropicali generati sull'oceano indiano.



Gli effetti del ciclone Gonu - categoria 5 (6 Giugno 2007)



Gli effetti del ciclone Gonu - categoria 5 (6 Giugno 2007)

Venti oltre 100 km/h a Muscat; onde fino a 12 m; fino a 610 mm di pioggia
50 morti; danni per 4.2 mld; danneggiati gli impianti di desalinizzazione



Gli effetti del ciclone Gonu - categoria 5 (6 Giugno 2007)

Venti oltre 100 km/h a Muscat; onde fino a 12 m; fino a 610 mm di pioggia
50 morti; danni per 4.2 mld; danneggiati gli impianti di desalinizzazione



Gli effetti del ciclone Gonu - categoria 5 (6 Giugno 2007)

Venti oltre 100 km/h a Muscat; onde fino a 12 m; fino a 610 mm di pioggia
50 morti; danni per 4.2 mld; danneggiati gli impianti di desalinizzazione



Gli effetti dei cicloni tropicali

Gonu, 2007 - 50 morti.

Peth, 2010 - 2 morti.

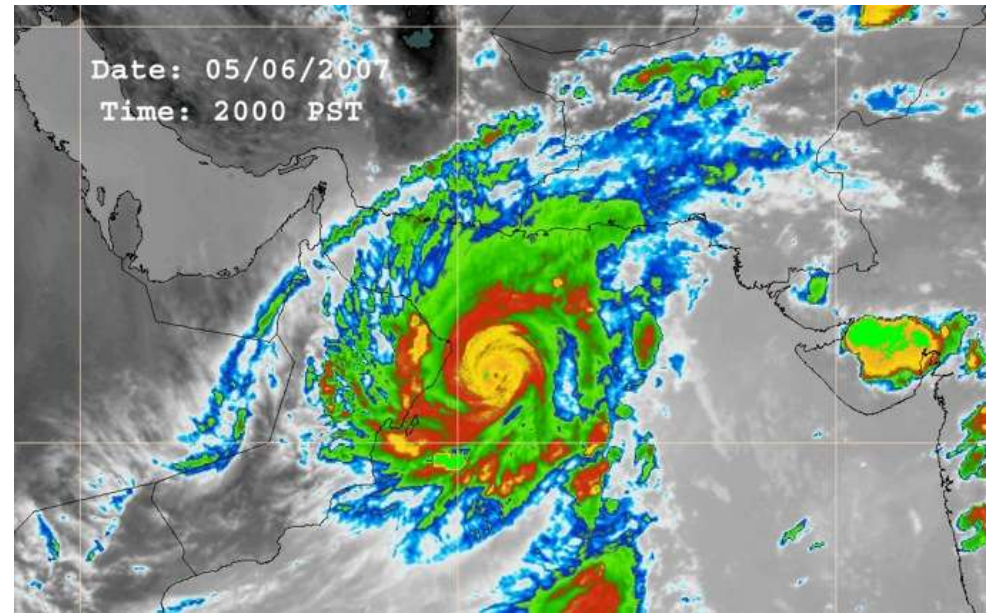
Global Change:

- aumento di frequenza ed intensità?
- Variazione delle traiettorie dei cicloni di categoria superiore?

L'assetto morfologico, in particolare della costa settentrionale → elevato livello di **pericolosità**: catene montuose vicino alla linea di costa, versanti estremamente acclivi, ridotti tempi di corrivazione.

La forte espansione dell'urbanizzazione lungo la costa ha causato un aumento del rischio da inondazione, ritenuto molto ridotto fino a Gonu.

Necessità di intervenire.



La risorsa idrica: i falaj

La presenza di rilievi montuosi elevati, malgrado i ridotti livelli di piovosità, ha garantito una discreta disponibilità di risorsa, resa disponibile mediante la realizzazione di strutture sotterranee in grado di sfruttare e trasportare l'acqua di falda.

Uso domestico ed irrigazione per agricoltura e giardini.

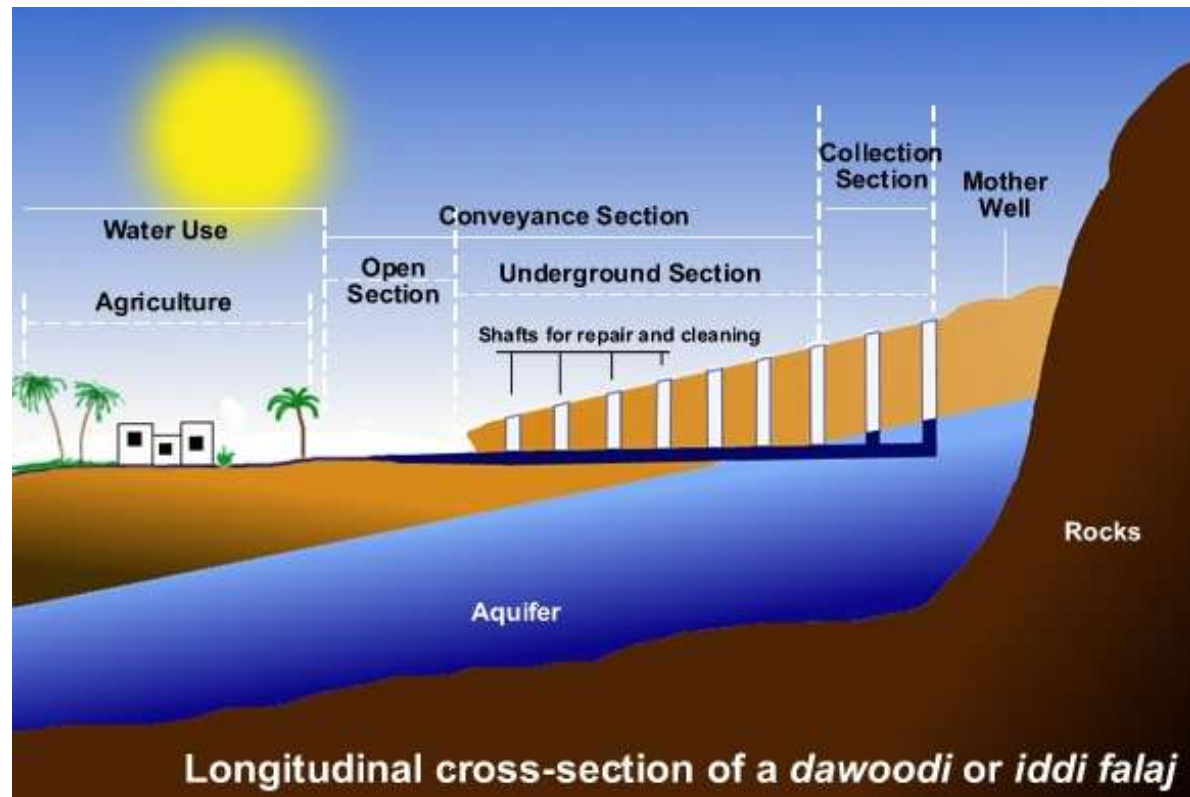
Strutture simili sono state storicamente realizzate nei paesi a clima arido (qanat, foggara, karez) ed hanno permesso lo sviluppo di antiche civiltà.

La tecnica si ritiene si stata sviluppata in Persia nel 500 a.C.

Strutture verticali e strutture orizzontali di trasporto.

Il trasporto può avvenire anche per lunghe distanze senza subire l'effetto negativo dell'elevato tasso di evaporazione.

Fabbisogno: da una famiglia, fino a diverse migliaia di persone.



I falaj: in Oman censiti 3000 sistemi; 3 inseriti nella WHL UNESCO



I falaj: in Oman censiti 3000 sistemi; 3 inseriti nella WHL UNESCO



I falaj: in Oman censiti 3000 sistemi; 3 inseriti nella WHL UNESCO



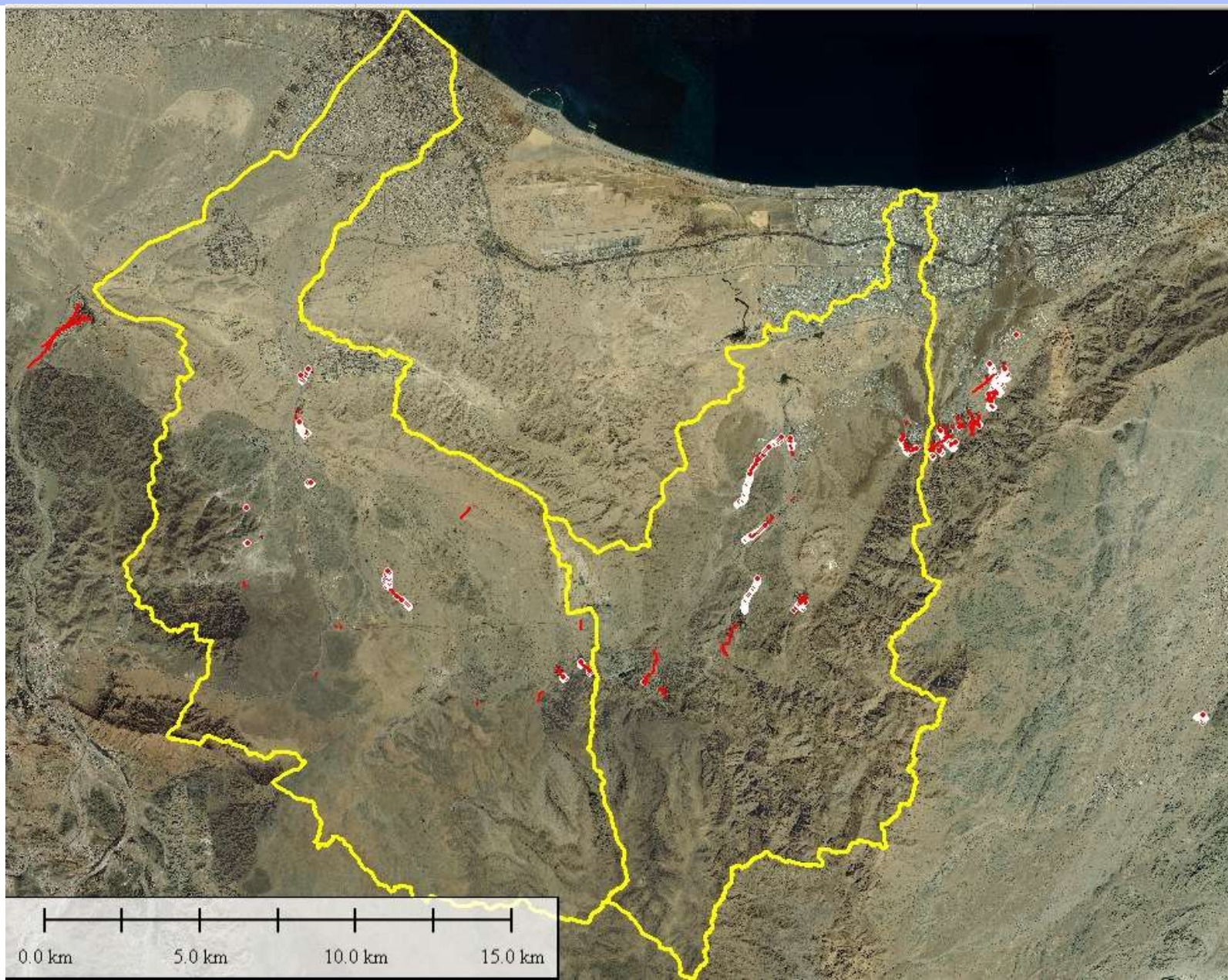
I falaj: in Oman censiti 3000 sistemi; 3 inseriti nella WHL UNESCO



I falaj: in Oman censiti 3000 sistemi; 3 inseriti nella WHL UNESCO



I falaj nell'area di studio



Mitigazione del rischio da alluvioni

Analisi a scala di bacino idrografico e modellazione idrologica (DHI) ed idraulica (OAC ingegneria).

Sistema di dighe di laminazione finalizzato all'incremento del tempo di corrivazione ed allo sfasamento dei picchi relativi ai contributi dei sottobacini che, per dimensioni o per localizzazione e caratteristiche morfologiche, rappresentano la maggiore causa di pericolosità.

Field survey:

Analisi geologico-geotecnica
Presenza materiali per
realizzazione sbarramento

Analisi morfologica

Remote sensing
GIS
Modellazione 3D



Effetti sulla falda

Il riempimento degli invasi, sebbene temporaneo, indurrà effetti positivi sulla ricarica della falda.

Il volume degli invasi, la cui ubicazione è su materiali alluvionali, è compreso tra i 2000000 m³ ed i 10000000 m³.

La localizzazione degli invasi è distribuita sul territorio.

Il rallentamento del flusso d'acqua migliora l'effetto di assorbimento.



I dati utilizzati

Estensione dell'area indagata: circa 500 km²

Immagini satellitari e foto aeree ortorettificate

DEM a maglia 5 metri

Vettoriali:

- reticolo degli wadi
- sistemi dei falaj (pozzi ed acquedotti)
- dighe e spillway esistenti
- piano regolatore e di sviluppo insediativo/produttivo



I criteri adottati

La morfologia e l'uso del suolo hanno rappresentato i vincoli principali nell'identificazione dei siti diga.

Criteri generali:

- strutture di piccole dimensioni, caratterizzate da un buon livello di sostenibilità sia economica che ambientale
- Funzionamento sistemico
- utilizzo indiretto (ricarica della falda, contrasto cuneo salino lungo costa), ove possibile, della risorsa periodicamente accumulata



I criteri utilizzati

Funzionalità della diga a scala locale: capacità di invaso ed estensione del bacino imbrifero.

Funzionalità entro il sistema di dighe, compresa quella esistente.

Caratteri morfologici generali del bacino imbrifero (acclività dei versanti, forma del bacino imbrifero...).

Morfologia di dettaglio: presenza di soglie per l'installazione dello sbarramento e di soglie secondarie per lo spillway.

Presenza di villaggi, coltivazioni ed infrastrutture; in alcuni casi gli invasi sono stati localizzati a monte di villaggi ed in prossimità delle rotture di pendenza tra le piane interne e la seconda catena montuosa.

Presenza di falaj.

Aspetti economici:

- infrastrutture in vicinanza dei siti proposti.
- Soglie in roccia per la realizzazione degli spillway.

Altezza degli sbarramenti contenuta entro 25/30 m e lunghezza non eccessiva.

Dighe - tipologia

Diga in terra con nucleo impermeabile

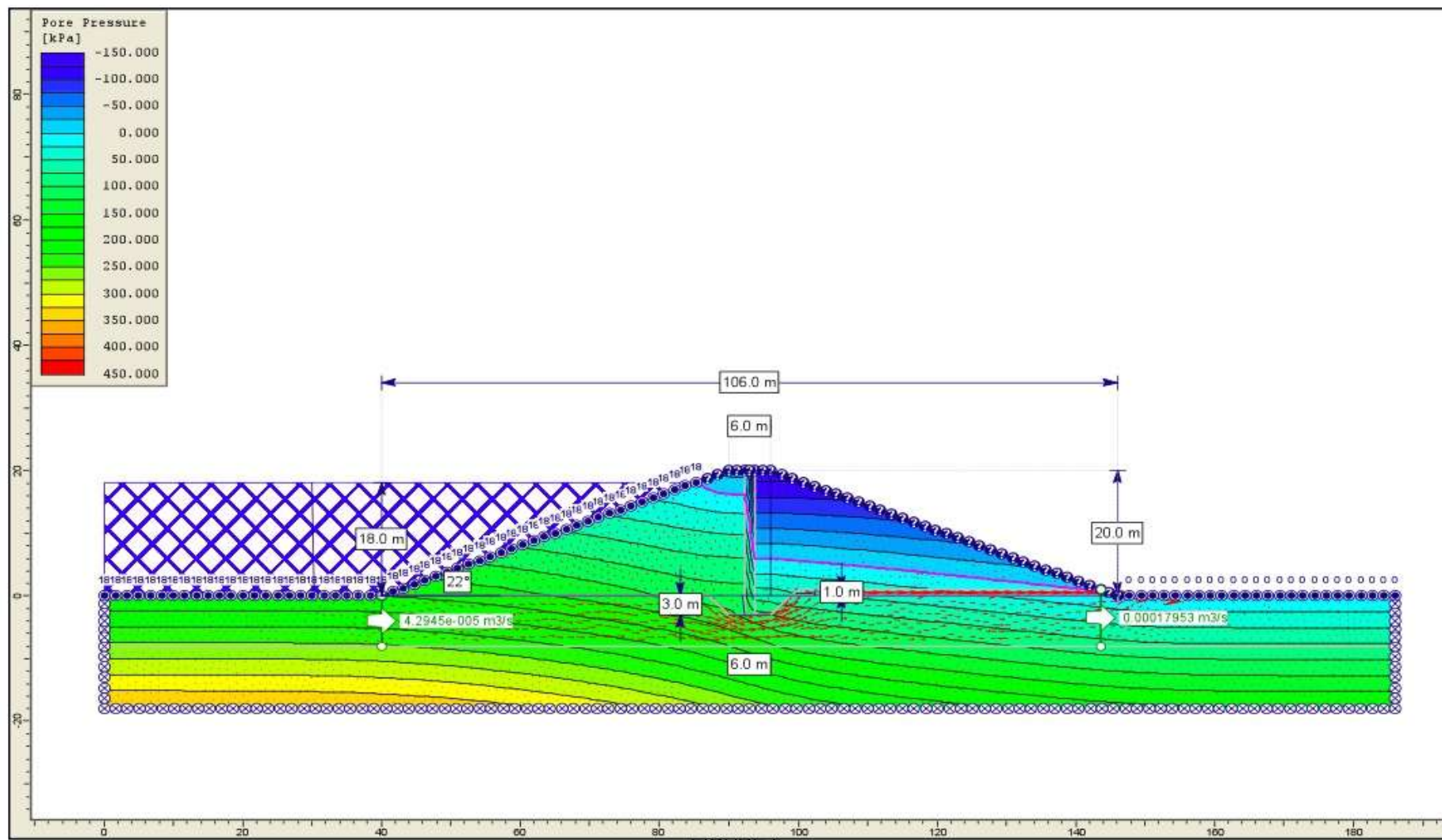


FIGURE 5

PORE PRESSURE COUNTOURING

L'utilizzo della modellazione 3D

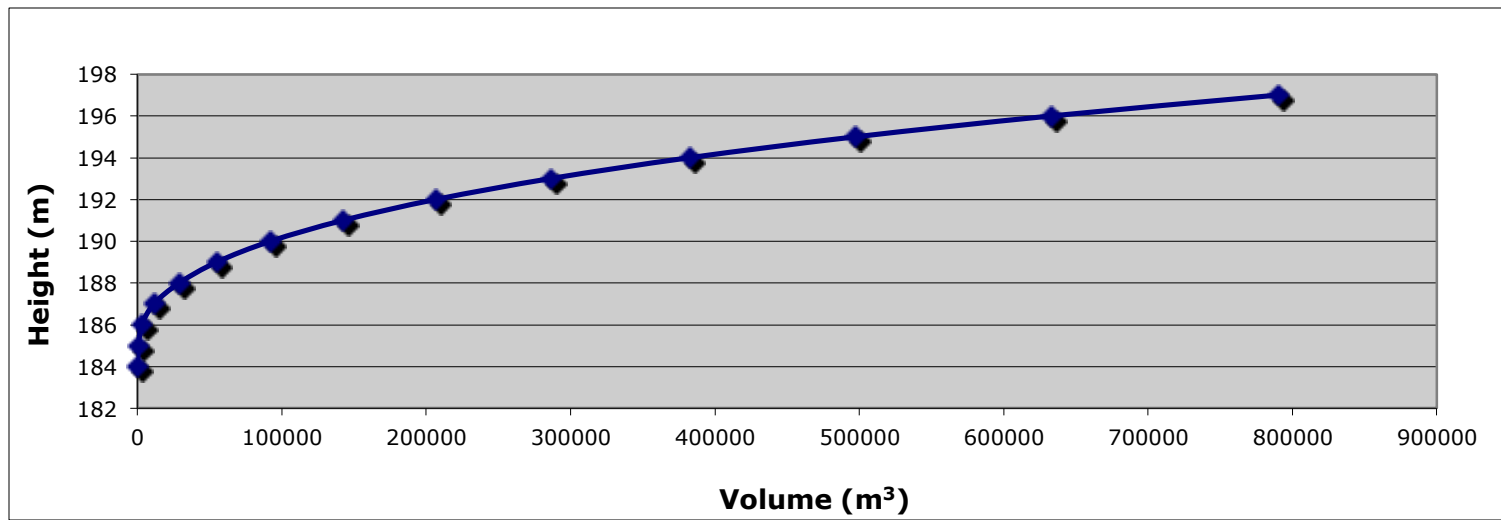
Interpretazione delle forme

Individuazione dei sottobacini

Realizzazione di cartografie di dettaglio

Calcolo dei parametri necessari alla modellazione idraulica ed alla progettazione preliminare:

- curve di capacità di invaso
- parametri geometrico/dimensionali di dighe e spillway
- valutazione dei volumi diga
- inserimento degli sbarramenti nel modello georeferenziato



L'utilizzo della modellazione 3D

Script dedicati all'automazione delle procedure di calcolo

The image displays a VBA script in a 'Scripter [design]' window, which automates the calculation of volumes and areas for a 3D model. The script is titled 'volumes_01 (script) - Scripter [design]' and includes the following code:

```

Sub Main

'Declare SurferApp as an object
Dim SurferApp As Object
Set SurferApp = CreateObject("Surfer.Application")
SurferApp.Visible = True

'Create a new worksheet window
Set Wks = SurferApp.Documents.Add(srfDocWks)
Wks.Cells("A1") = "Upper Surface:"
Wks.Cells("B1") = "Trapezoidal Rule:"
Wks.Cells("C1") = "Simpson's Rule:"

Wks.Cells("E1") = "Positive Volume [Cut]:"
Wks.Cells("F1") = "Negative Volume [Fill]:"

'Specifies the upper and lower surfaces. The upper surface is a grid file, the lower
'surface can be another grid file or a constant Z value

LowerSurface = SurferApp.Path+"\samples\Cut JIF07_modif_50.grd"

For i=2 To 30

UpperSurface =25+i

'Calculates the volume and area. This method does not display the report window
Dim Results() As Double
SurferApp.GridVolume(upper:=UpperSurface,lower:=LowerSurface, pResults:=Results, showreport:=False)

'Put the contents of pResults (the Grid Volume report) in the worksheet cells

Wks.Cells("A"+i)= UpperSurface
Wks.Cells("B"+i).Value = Results(srfGWTrapVol)
Wks.Cells("C"+i).Value = Results(srfGVSimpVol)
Wks.Cells("E"+i).Value = Results(srfGVPosVol)
Wks.Cells("F"+i).Value = Results(srfGVNegVol)

'Save worksheet
Wks.SaveAs(SurferApp.Path+"\samples\VolumeReport.dat")

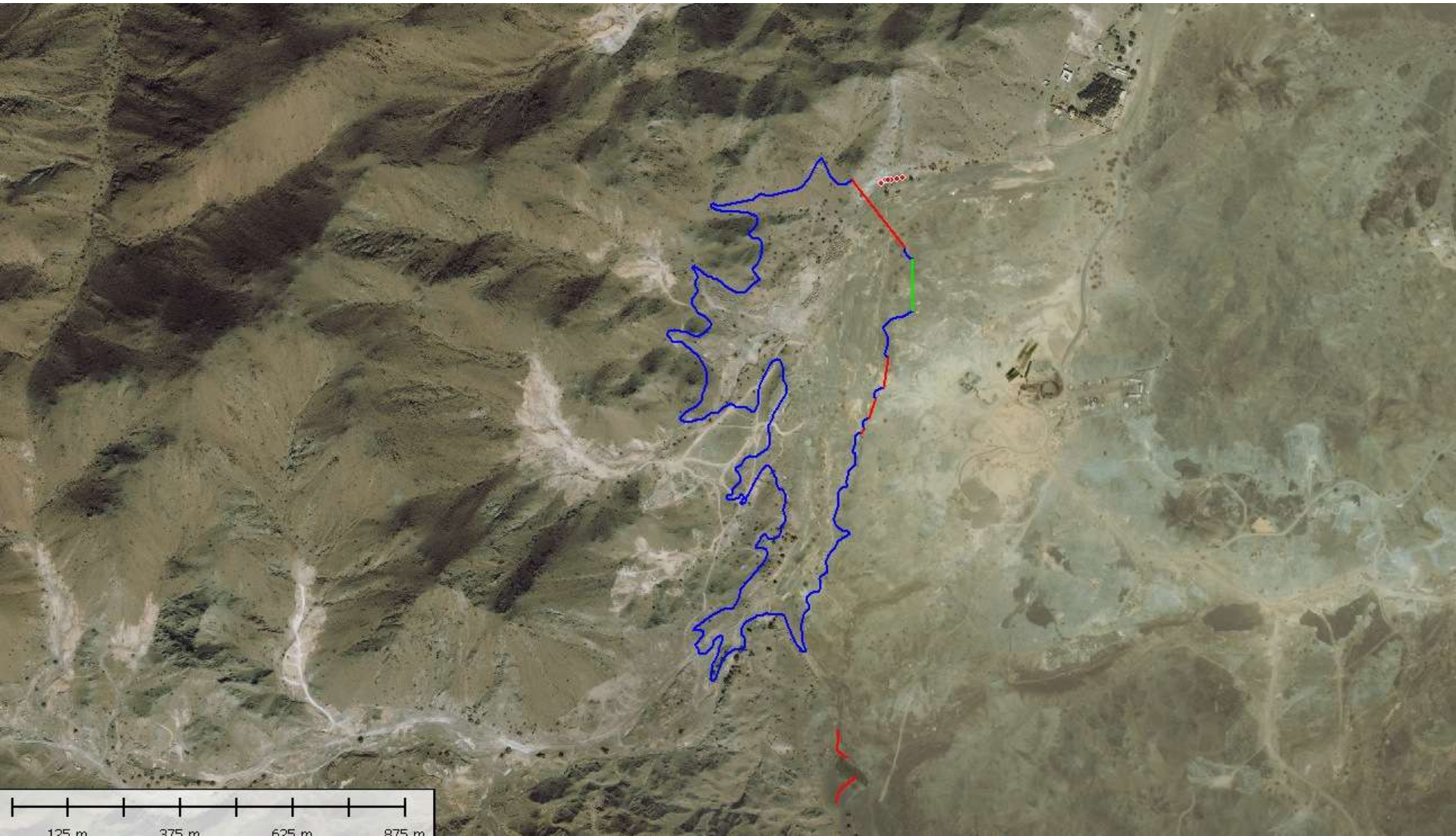
Next i

End Sub
    
```

The 3D model on the right shows a topographic surface with a blue reservoir. A vertical color scale on the right indicates elevation, ranging from 20 to 340. The horizontal axis at the bottom of the model is labeled with values: 2000, 621000, 620000, 619000, 618000, and 617000.

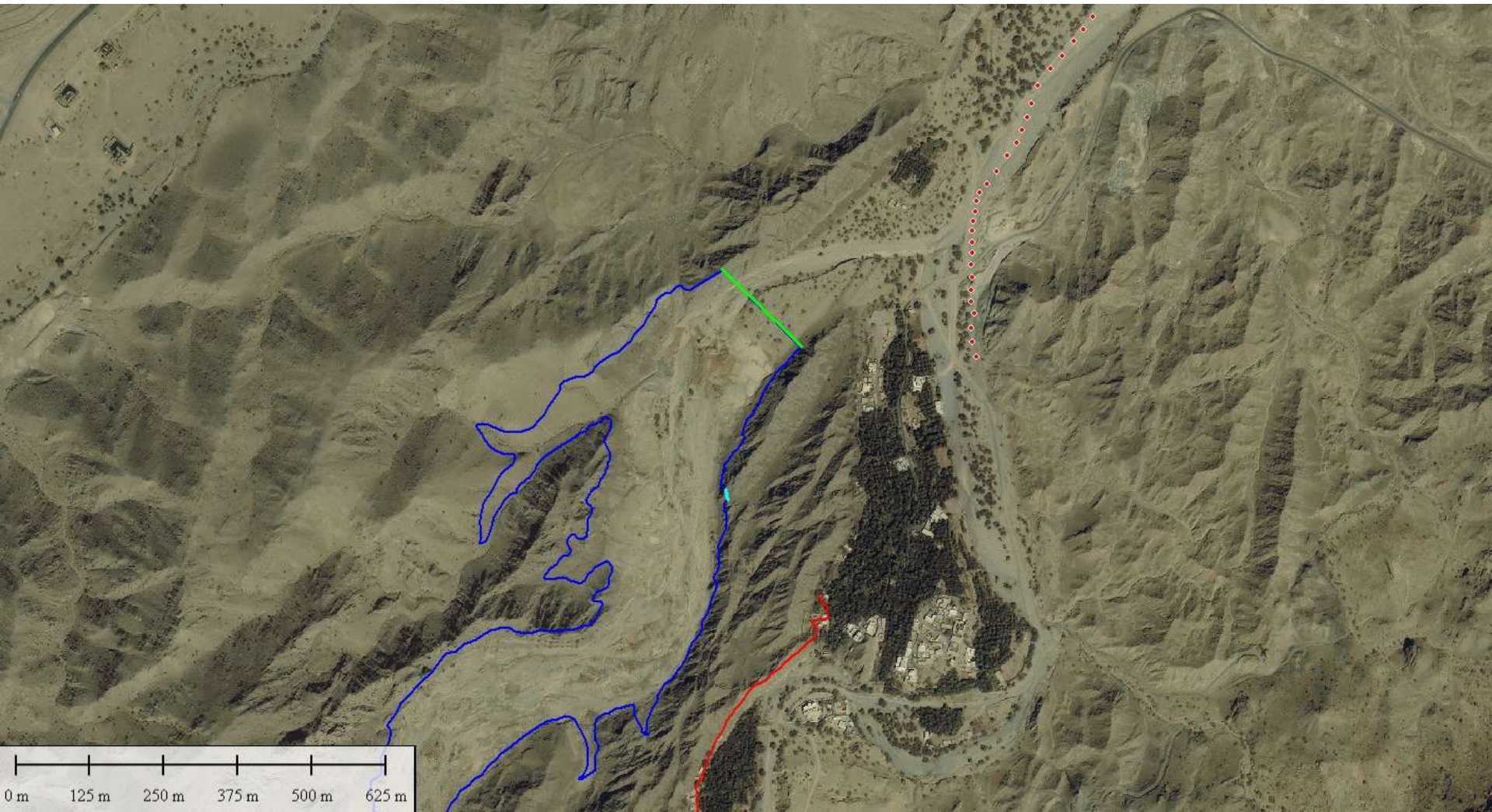
Integrazione della modellazione 3D in ambiente GIS

Simulazione dell'inserimento degli sbarramenti al massimo livello di invaso



Integrazione della modellazione 3D in ambiente GIS

Simulazione dell'inserimento degli sbarramenti al massimo livello di invaso

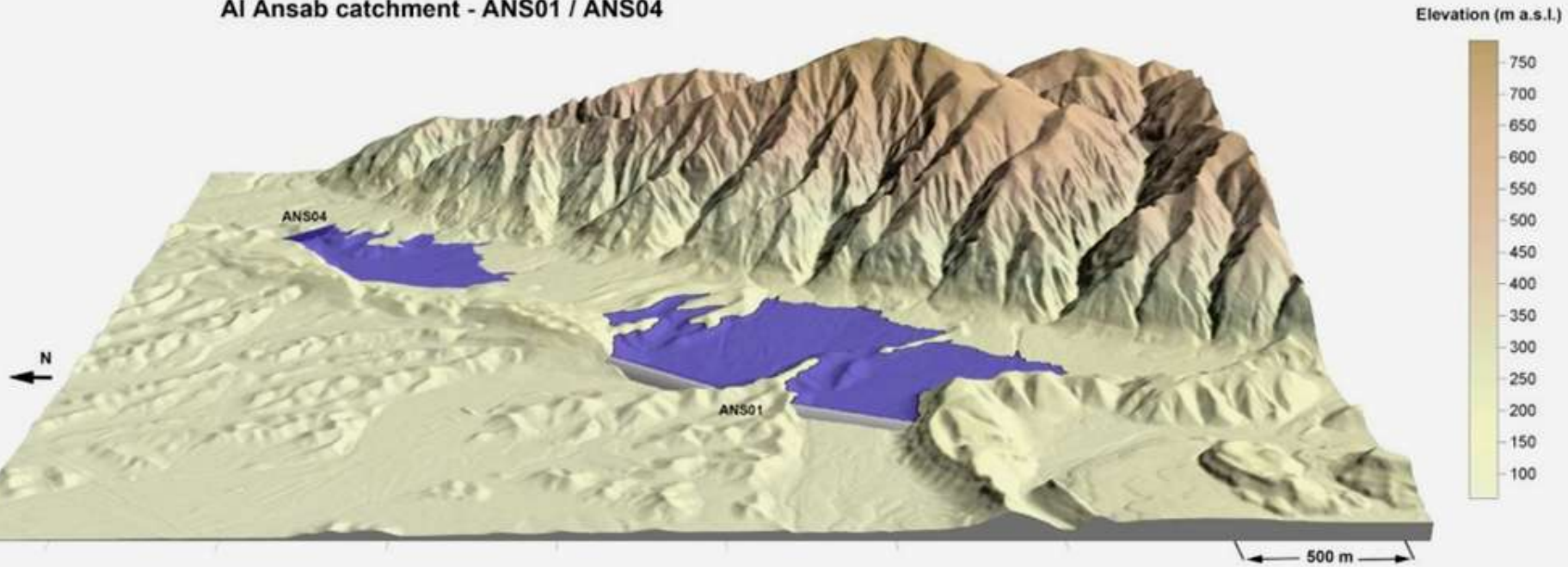


Il sistema di sbarramenti



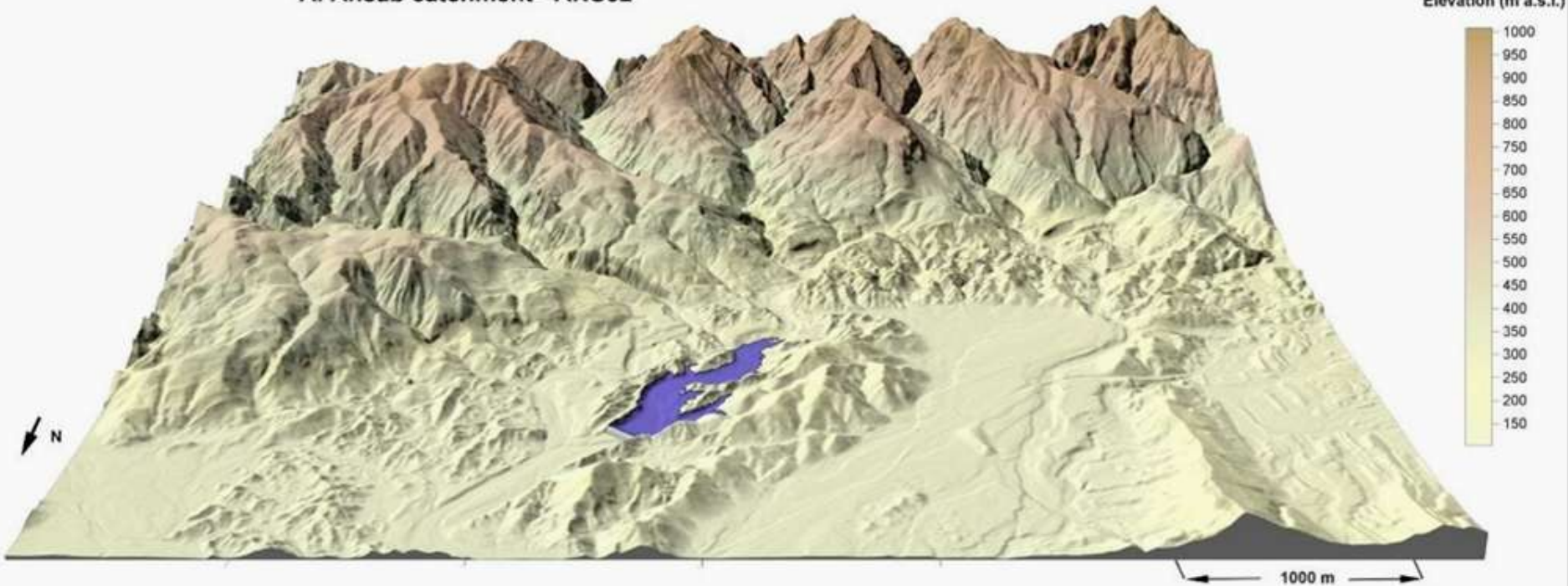
Il sistema di sbarramenti

Al Ansab catchment - ANS01 / ANS04



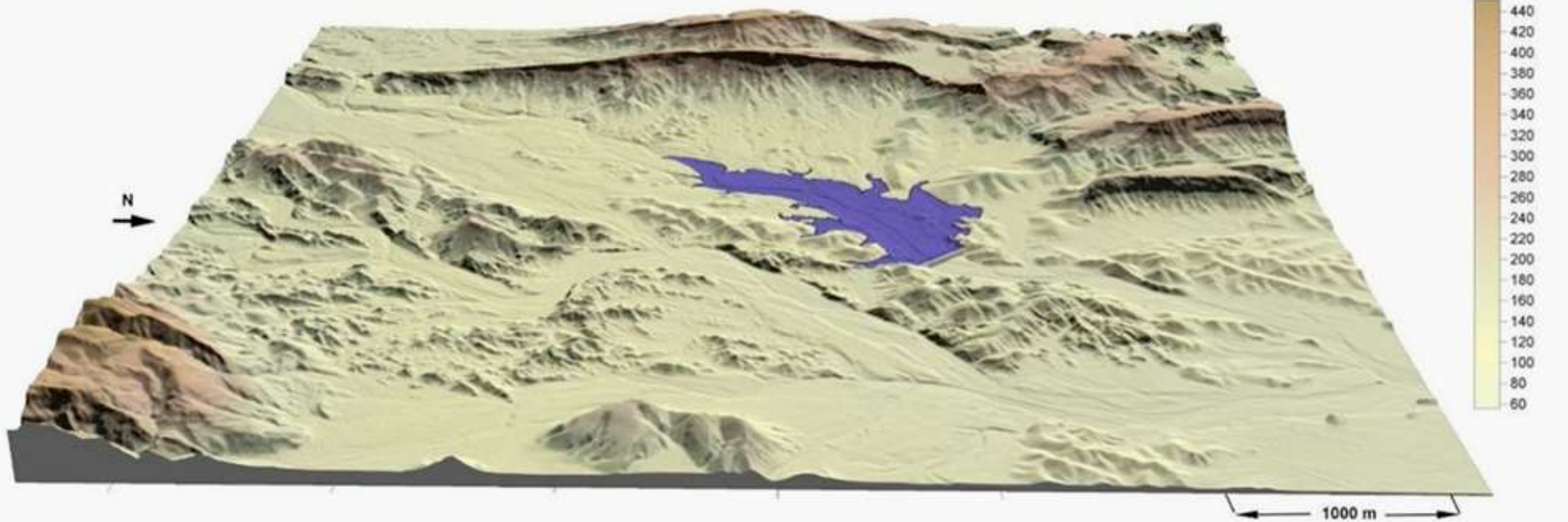
Il sistema di sbarramenti

Al Ansab catchment - ANS02



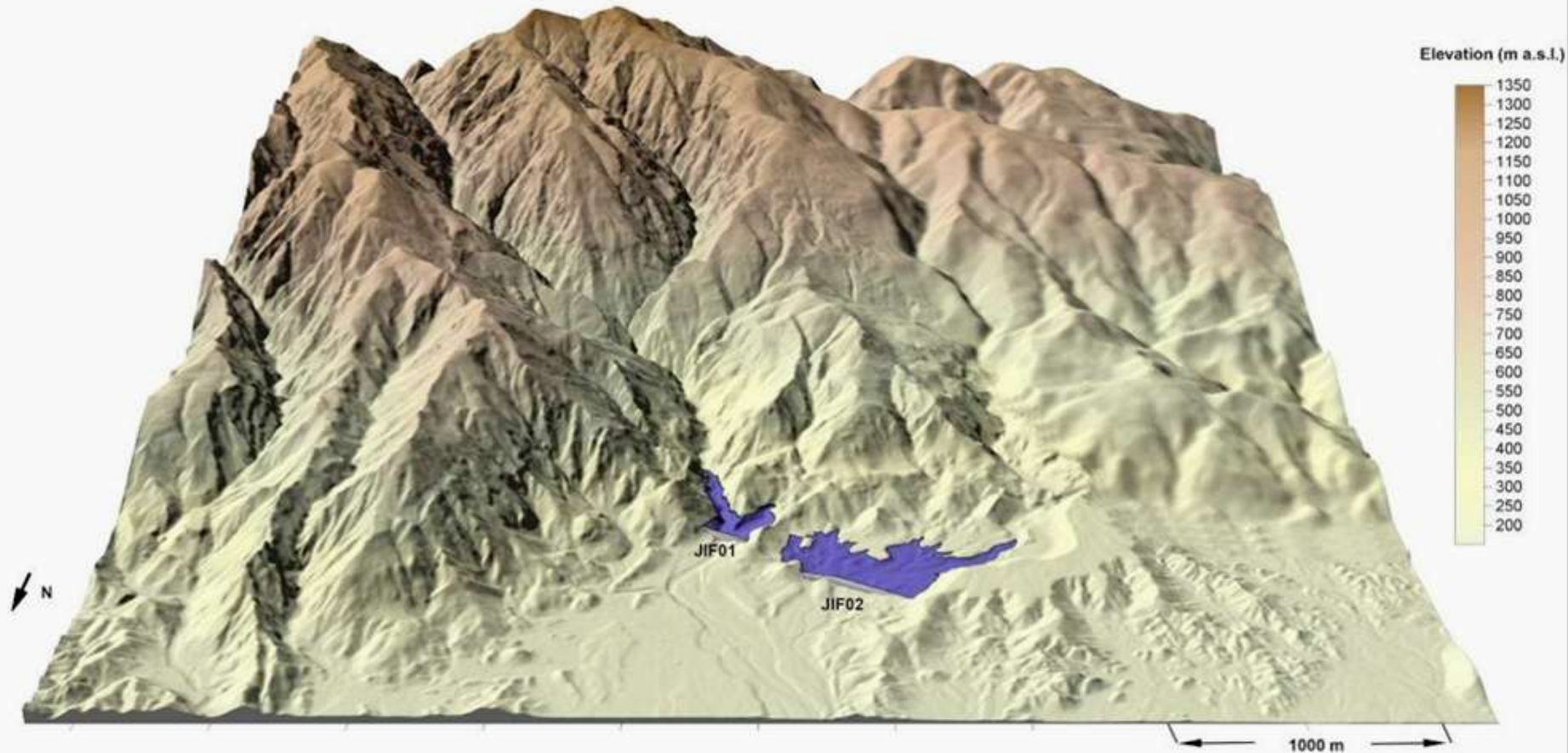
Il sistema di sbarramenti

Al Ansab catchment - ANS03



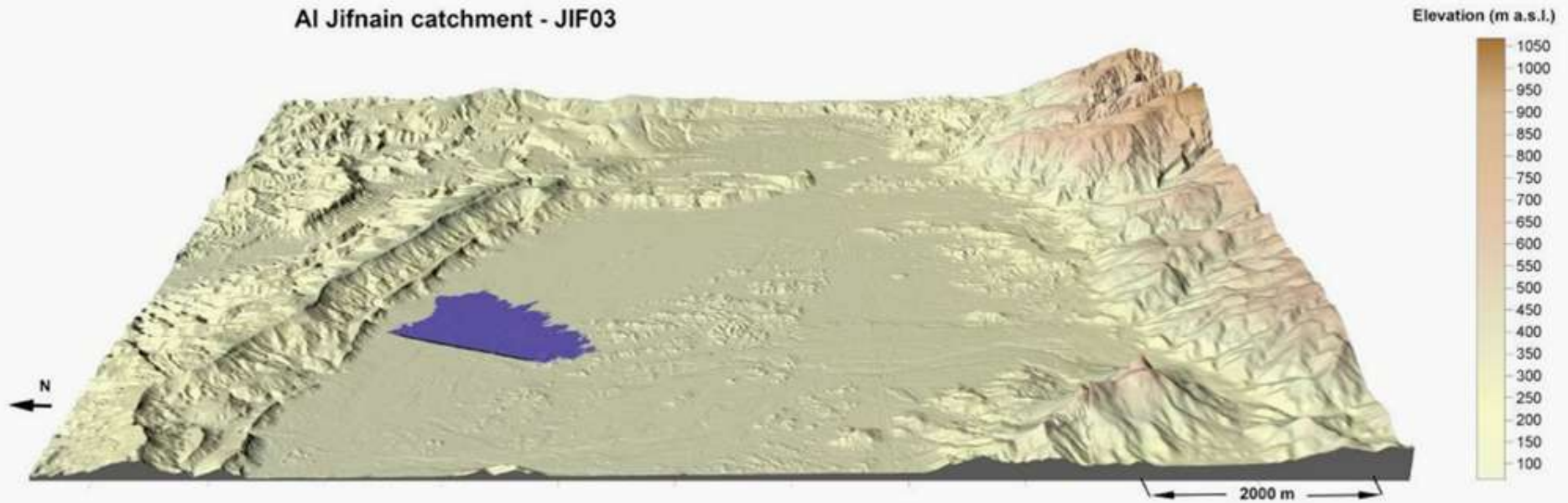
Il sistema di sbarramenti

Al Jifnain catchment - JIF01 / JIF02



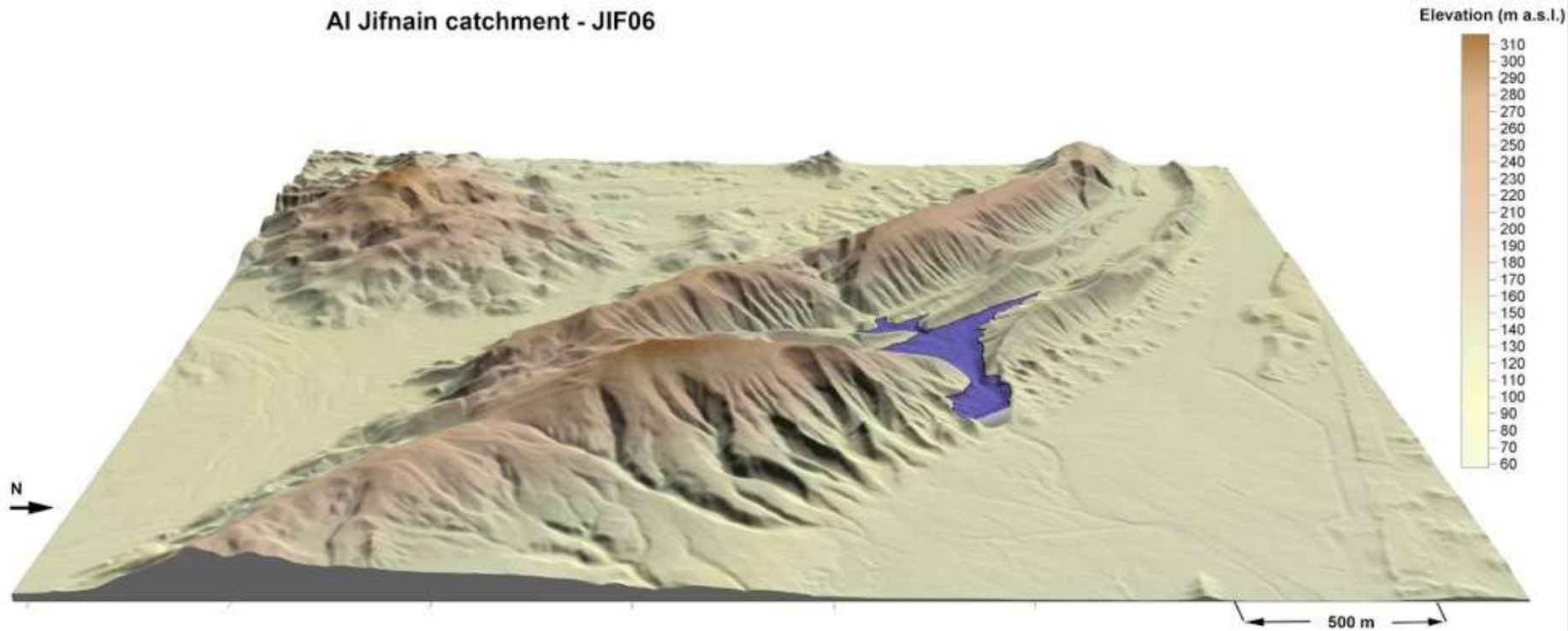
Il sistema di sbarramenti

Al Jifnain catchment - JIF03

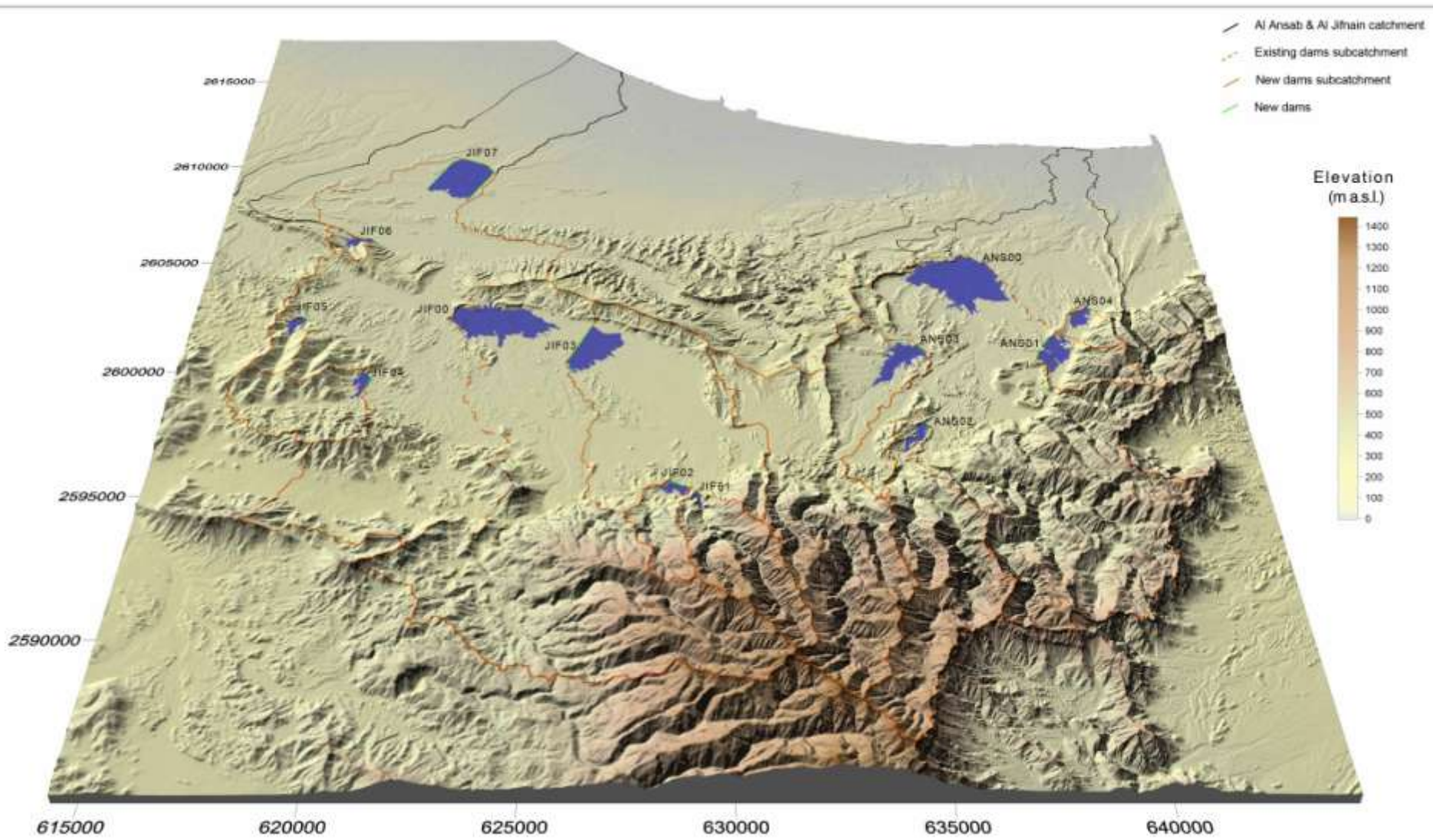


Il sistema di sbarramenti

Al Jifnain catchment - JIF06



Il sistema di sbarramenti



Grazie per l'attenzione!

Geol. Guido Paliaga, PhD

gpaliaga@gmail.com

Geol. Luciano Minetti

geotecmine@gmail.com

