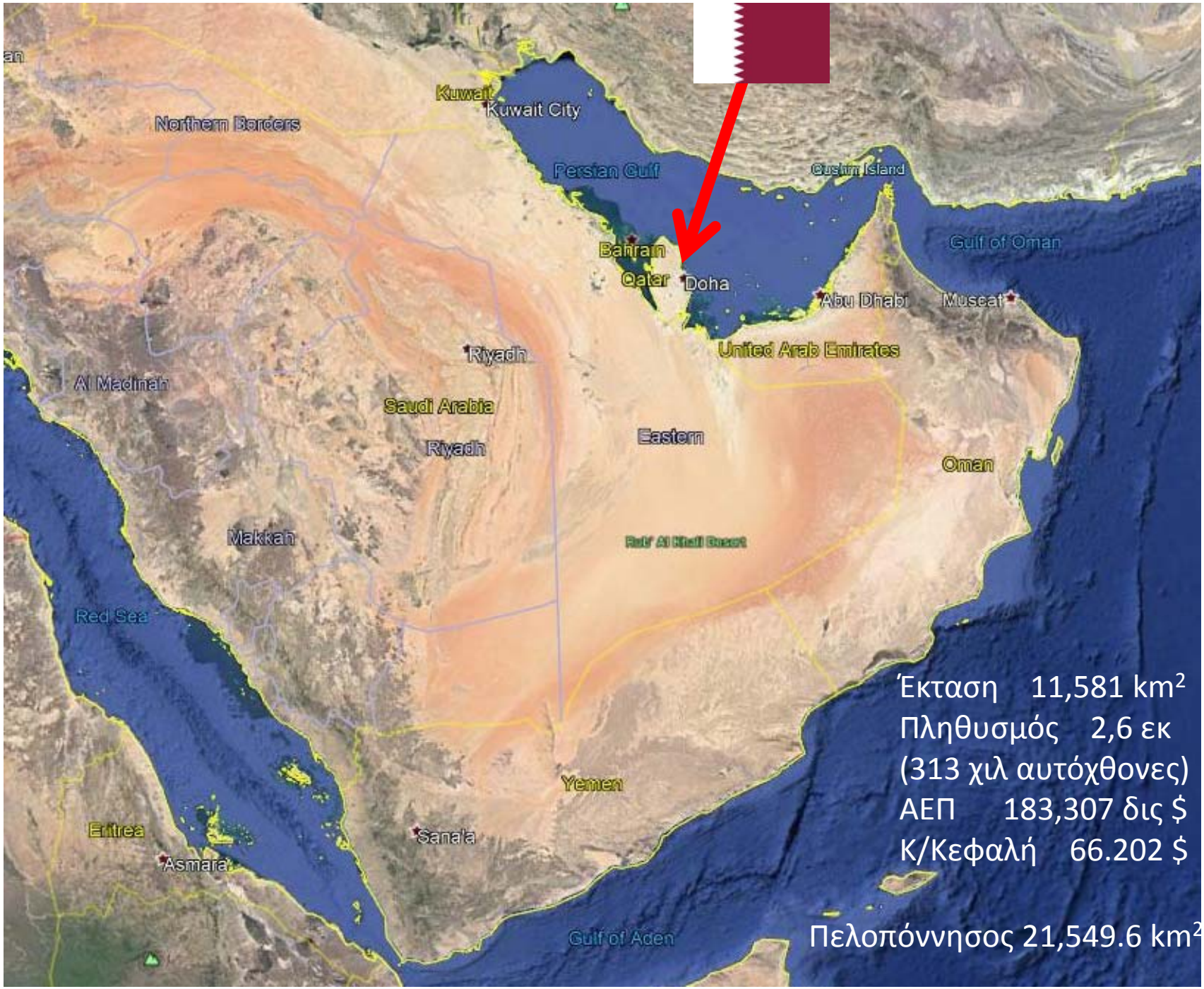
Doha Metro Phase 1 Project

Το μετρό της Ντόχα - Κατασκευαστικές και οργανωτικές προκλήσεις

Δρ. Γιώργος Τσιφουτίδης – Μηχ/κός Γεωλόγος



Έκταση 11,581 km²
Πληθυσμός 2,6 εκ
(313 χιλ αυτόχθονες)
ΑΕΠ 183,307 δις $
Κ/Κεφαλή 66.202 $

Πελοπόννησος 21,549.6 km²

Η Ντόχα πριν και σήμερα

Το 1996 αρχίζουν να φαίνονται τα πρώτα σημάδια σημαντικών εξελίξεων στα αναπτυξιακά σχέδια της χώρας.

Το 1984 το Κατάρ είναι μόλις 13 ετών και η Ντόχα μια πόλη πλάτους 6 Km.

Το 2006 η πόλη έχει ήδη διπλασιαστεί και ετοιμάζονται σημαντικά έργα υποδομής (λιμάνια, οδικό δίκτυο, οικιστική ανάπτυξη, κατασκευή νέου αποχετευτικού, επιχωμάτωση για το νέο αεροδρόμιο, την συνοικία Pearl κ.α)

Το 2016 η πόλη έχει τριπλασιαστεί. Διαθέτει ένα απ τα πλέον σύγχρονα αεροδρόμια, νεότατη κτιριακή υποδομή, κεντρικό σύστημα ψύξεως, πλήθος οδικών έργων, κεντρικό σύστημα ανακύκλωσης νερού, υποδομές πόλης δορυφόρου (Lusail) ενώ το μετρό ήδη κατασκευάζεται!

Η Ντόχα το 2018 με ολοκληρωμένο το εσωτερικό και περιφερειακό οδικό δίκτυο ταχείας κυκλοφορίας , με τα έργα πολιτικού μηχανικού (υποδομή) του μετρό ολοκληρωμένη με μια νέα πόλη δορυφόρο (Lusail) υπό κατασκευή.

Η πόλη διαθέτει ένα νέο πάρκο μήκους 2,7 χλμ δίπλα στο παραλιακό μέτωπο διαμορφωμένο από υλικά των εκσκαφών του μετρό

- Η εκρηκτική οικοδομική και πληθυσμιακή ανάπτυξη, η άνθηση της οικονομίας βασισμένη στην εξαγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου και η απουσία μέσων μαζικής μεταφοράς δημιούργησε από νωρίς σοβαρότατα κυκλοφοριακά προβλήματα και την μόλυνση της ατμόσφαιρας.
- Στα πλαίσια του αναπτυξιακού σχεδίου **Qatar National Vision 2030**, πέραν των λοιπών υποδομών, άρχισε το 2010 ο σχεδιασμός μητροπολιτικού σιδηροδρόμου για την πόλη της Ντόχας και σιδηροδρομικού δικτύου. Στα πλαίσια αυτά δημιουργήθηκε η εταιρεία **Qatar Rail Company (QRC)** ως φορέας σχεδιασμού και υλοποίησης των σιδηροδρομικών δικτύων.
- Στρατηγικός σύμβουλος της Qatar Investment Authority, ήδη από το 2009 και της QRC από το στάδιο του σχεδιασμού είναι η **Deutsche Bahn Engineering & Consulting GmbH**, θυγατρική των Γερμανικών Σιδηροδρόμων.

1η Φάση του έργου

3 Γραμμές

Κόκκινη

Πράσινη

Χρυσή

RAIL الرّيل

تحقيق رؤيه

Accomplishing a Vision

DB Mobility Networks Logistics

Πριν την δημοπράτηση

- Αρχικά 2009 – 2011 προσδιορίστηκαν η χάραξη, η ανάλυση κινδύνων, τα βασικά τεχνικά έργα που θα απαιτούντο (σήραγγες, γέφυρες, επίγεια χωματουργικά), οι μέθοδοι εκσκαφής, οι θέσεις και οι τύποι των σταθμών και μετά το 2014 εκπονήθηκε το αρχιτεκτονικό μοντέλο από το ολλανδικό γραφείο UNStudio βασισμένο πάνω στο τοπικό χρώμα.
- Ταυτόχρονα (2011 – 2012) εκτελέστηκε εκτεταμένη προκαταρκτική γεωλογική, γεωφυσική, γεωτεχνική και υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής του έργου από την Schlumberger Water Services. Εκτελέστηκαν 370 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με επί τόπου δοκιμές SPT, πρεσσιομετρήσεις, δοκιμές περατότητας, γ-rays, εγκατάσταση πιεζομέτρων απλών και με αυτόματη μετάδοση, πληθώρα εργαστηριακών δοκιμών κατάταξης, παραμέτρων αντοχής, τραχύτητας και φθοράς, γεωχημείας (οργανικά, επιθετικότητα, μόλυνση) κλπ, επί τόπου εκτιμήσεις βραχόμαζας σε δρώσες εκσκαφές, πλήθους μικρών σκαμάτων, βιβλιογραφική έρευνα, καταλόγηση υδρογεωλογικών δεδομένων της περιοχής, κλπ.
- Διαπιστώθηκε το εύρος βασικών γεωτεχνικών παράμετρων σχεδιασμού ανά τομέα του έργου, μελετήθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής του έργου και η αναμενόμενη κύμανση της ποιότητας του υπόγειου νερού και αναλύθηκαν κίνδυνοι σχετικοί με τις ιδιαίτερες γεωλογικές συνθήκες.
- Με βάση τα παραπάνω, καθώς και τις κυκλοφοριακές ανάγκες και το αρχιτεκτονικό μοντέλο, το έργο μελετήθηκε από τους συμβούλους της QRC έως μια «προχωρημένη προκαταρτική» που θα έδινε την εικόνα και τις βασικές ποσότητες, τις διακινδυνεύσεις και τις απαιτήσεις των υπό δημοπράτηση υποέργων στους υποψηφίους.

Δεδομένα κατασκευής 1ης Φάσης

Στόχοι :

- Λειτουργία εντός 2020
- Εξυπηρέτηση της διαμπερούς κυκλοφορίας
- Αποσυμφόρηση και ανάδειξη του υπό ανασχεδιασμό κέντρου της πόλης
- Υποστήριξη της διεξαγωγής του Mundial 2022

Η δημοπράτηση της 1ης Φάσεως

- Η δημοπράτηση της 1ης φάσης του έργου έγινε με βάση το κίτρινο βιβλίο της FIDIC (*Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils – Διεθνής Ένωση Συμβούλων Μηχανικών)*, δηλαδή ως μελέτη και κατασκευή.
- Το έργο διαιρέθηκε σε 8 συμβάσεις για τις μελέτες και έργα υποδομής (έργα πολιτικού μηχανικού, Η/Μ και αρχιτεκτονικών εργασιών).
- Αφού οι υποψήφιοι Ανάδοχοι έχουν λάβει γνώση του συνόλου των παρεχόμενων πληροφοριών και έχοντας κάνει τις δικές τους εκτιμήσεις, αποδέχτηκαν το <u>ρίσκο στο σύνολό του</u>, περιλαμβανομένων όλων των υπεδαφικών συνθηκών που είναι με την μεριά των κατασκευαστών-μελετητών του έργου.
- Πάνω σε αυτές τις εργολαβίες «ακουμπά» ως ομπρέλα η κρίσιμη εργολαβία της μελέτης, προμήθειας και εγκατάστασης της επιδομής, των σιδηροδρομικών και λοιπών συστημάτων λειτουργίας (λ.χ. Κλιματισμός, ηλεκτροκίνηση, τηλεδιοίκηση, σηματοδότηση, συντήρηση), προμήθειας και δοκιμής των συρμών.
- Η ολοκλήρωση εγκαίρως της τελευταίας είναι κρίσιμη για την εγκατάσταση του λειτουργού του συστήματος (Operator) το καλοκαίρι του 2018.
- Οι δημοπρατήσεις των παραπάνω 8 τομέων ξεκίνησαν το 2012 με τις αναθέσεις να υπογράφονται τον Μάιο 2013 και να ολοκληρώνονται τον Φεβρουάριο 2014 (Χρυσή Γραμμή).
- Η κατασκευή ξεκίνησε το 2013 από τον κεντρικό τριπλό σταθμό Msheireb στο κέντρο της πόλης.
- Τα έργα ΠΜ ολοκληρώθηκαν και έχουν πλέον σχεδόν ολοκληρωθεί τα Η/Μ και τα αρχιτεκτονικά τελειώματα. Το σύνολο του έργου έφτασε το **90%** του τελικού στόχου (QRC 25-9-2018)

Βασικά δεδομένα χάραξης 1ης Φάσεως ανά γραμμή

Γραμμή	Συνολικό Μήκος (Km)	Υπόγεια Χάραξη (Km)	Υπόγειοι Σταθμοί	Υπέργειοι Σταθμοί
Κόκκινη Γραμμή	40	28	11	5
Πράσινη Γραμμή	22	19	7	1
Χρυσή Γραμμή	14	14	9	0
Σύνολο	76	61	27	6

ΥΓ. Δεν περιλαμβάνονται η συνδετήρια βοηθητική μονή γραμμή μεταξύ Κόκκινης και Χρυσής, χώροι αλλαγής τροχιάς (switch boxes) και φρέατα εξόδου κινδύνου.

Κατανομή του Έργου (υποέργα υποδομής)

- Το έργο διαιρέθηκε σε συμβάσεις μελέτης – κατασκευής ως εξής :

  - **Κόκκινη Γραμμή** σε 4 εργολαβίες, δύο αμιγώς υπόγειες και δύο υπερυψωμένες / επίγειες χαράξεις.

  - **Πράσινη Γραμμή** σε 2 εργολαβίες, μία υπόγεια και μία υπερυψωμένη / επίγεια χάραξη.

  - **Χρυσή Γραμμή** μία εργολαβία σε ενιαία υπόγεια χάραξη.

  - **Μεγάλοι Σταθμοί** μία εργολαβία για τους σταθμούς Msheireb & Education City.

- Το μελετητικό αντικείμενο περιλαμβανομένων και των αναθεωρήσεων ή αλλαγών υπόκειται σε ανεξάρτητη επιβεβαίωση υπολογισμών από εξειδικευμένα γραφεία (*Design Verification Engineers*)

- Η επίβλεψη εκτέλεσης των συμβατικών υποχρεώσεων των αναδόχων (*Contractors*) και η διαχείριση των έργων ανατέθηκε σε εταιρείες συμβούλων (*Project Manager Consultants*) κατ' αντιστοιχίαν με τις εργολαβίες.

- Ο έλεγχος και ο συντονισμός όλων των παραπάνω εμπλεκομένων είναι ευθύνη της Qatar Rail ως Κυρίου του Έργου (*Project Owner*).

Contract	Contractor	Designer	DVE	PMC	Budget QAR
Red Line North EAG	J/V Rizzani De Eccher SpA, Lotte Engng & Construction Co Ltd, Redco Int. Trading and Contracting WLL	Typsa, Spain	SMEC Salfo, Greece	J/V Louis Berger, USA – Egis Rail, France	2.219.802.901,00
Red Line North UG	Impregilo SpA, Italy, SK Engineering & Construction Co Ltd Korea, Galfar Al Misnad Engineering & Contracting QA	Cowi, Denmark	Socotec, France	Jacobs, UK	8.461.001.366,00
Major Stations	Samsung C&T Corporation, Obrascon Huarte Lain SA Spain, Qatar Building Co. Qatar * [1]	Mot McDonald, UK		J/V Louis Berger, USA – Egis Rail, France	5.100.310.263,00

* [1] Η Κξια αυτή αντικαταστάθηκε λόγω προβλημάτων χρόνου και ποιότητας από την CCC ως καθαρό κατασκευαστή και την Mot McDonald ως μελετητή υπό την επίβλεψη της QRC.

Contract	Contractor	Designer	DVE	PMC	Budget QAR
Red Line South UG	J/V Vinci (QDVC), GS Engng & Construction Corp. Qatar, Al Darwish Engineering WLL, Qatar	Atkins, UK	Aurecon, Australia	Jacobs, UK	7.460.452.585,00
Red Line South EAG	FCC Construccion SA Spain, Archirodon Construction (Overseas) SA Greece, Yüksel Insaat AS Turkey, Petroserv Ltd. Qatar	Sener – Typsa, Spain	SMEC, Australia	JV Louis Berger, USA – Egis Rail, France	2.381.610.432,00
Gold Line	Aktor SA Greece, Larsen & Tourbo Ltd, Yapi Merkezi Insaat Turkey, Sezal Turkes Feysi Akkaya Marine Construction Turkey, Al Jaber Engineering LCC, Qatar	Atkins UK, OK Consulting Engineers, Greece	Mott Mac Donald, UK	JV Louis Berger, USA – Egis Rail, France	12.256.005.898,00

Contract	Contractor	Designer	DVE	PMC	Budget QAR
Green Line UG	Porr Bau GmbH Austria, Saudi Bin Ladin Group of Companies Ltd S. Arabia, Hamad Bin Khalid Contracting WLL, Qatar	SSF and D2 Consult Int., Germany	Ramboll, Denmark	Hill International, UK / Greece	8.989.170.216,00
Green Line EAG	Porr Bau GmbH Austria, Saudi Bin Ladin Group of Companies Ltd S. Arabia, Hamad Bin Khalid Contracting WLL, Qatar	DRA Al Handash	SMEC, Australia Salfo, Greece	JV Louis Berger, USA – Egis Rail, France	889.000.000,00

Το συνολικό κόστος μελέτης και κατασκευής των υποδομών ανέρχεται στα 11,84 δις QAR ή **13,12 δις $**, η αμοιβή των συμβούλων επίβλεψης και διαχείρισης (PMCs) ανέρχεται στα **313,1 εκ. $**, ενώ για την εκτέλεση πρόδρομων εργασιών (λχ μετατόπισης δικτύων κλπ) το κόστος της σύμβασης ήταν **137,36 εκ. $.**

Η εργολαβία μελέτης, προμήθειας και κατασκευής σιδηροδρομικών συστημάτων ανέρχεται στα **3,25 δις $.**

Πέραν των παραπάνω, άλλοι παράγοντες (Stakeholders) που επηρεάζουν το έργο :

1. Ταυτόχρονη εξέλιξη προγράμματος νέων αυτοκινητοδρόμων, υπογειοποίησης διασταυρώσεων, μεταβολές ή αναβαθμίσεις στα δίκτυα κοινής ωφέλειας εντός και πέριξ του αστικού ιστού, του πολεοδομικού ανασχεδιασμού του ιστορικού κέντρου, άλλων κατασκευών σχετικών με το Mundial 2022 και κατασκευής δικτύου ψύξεως του μετρό με αγωγούς ψυχρού νερού από άλλες εκτελούσες έργα Αρχές.
2. Επιβλέπον Υπουργείο Μεταφορών και μεταβολές σε προτεραιότητες λ.χ. λόγω απαιτήσεων FIFA για σύνδεση με την πόλη Al Khor (60 km).
3. Άλλες αδειοδοτικές Αρχές (λ.χ. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Υπουργείο Εσωτερικών, Γραφείο Έργων του Εμίρη, Αρχή Δημοσίων Έργων – Ashghal, Εταιρεία Υδρεύσεως και Ενέργειας – Kahramaa, Τελωνειακές και Λιμενικές Αρχές, Υπουργείο Παιδείας, Αρχαιολογικές Υπηρεσίες, Θρησκευτικές Αρχές κλπ).
4. Εταιρείες παροχής υπηρεσιών (λ.χ. τροφοδοσία με υλικά, υποστηρικτικές τεχνικές υπηρεσίες, υπεργολάβοι κλπ). Σημειώνεται πως το Κατάρ πρέπει μεταξύ άλλων να εισάγει και σκύρα για την παραγωγή ετοίμου σκυροδέματος υψηλής αντοχής.
5. Ιδιώτες των οποίων οι περιουσίες επιρρεάζονται και διαθέτουν δύναμη παρέμβασης ή εκπροσωπούνται από δημοτικές αρχές κλπ.

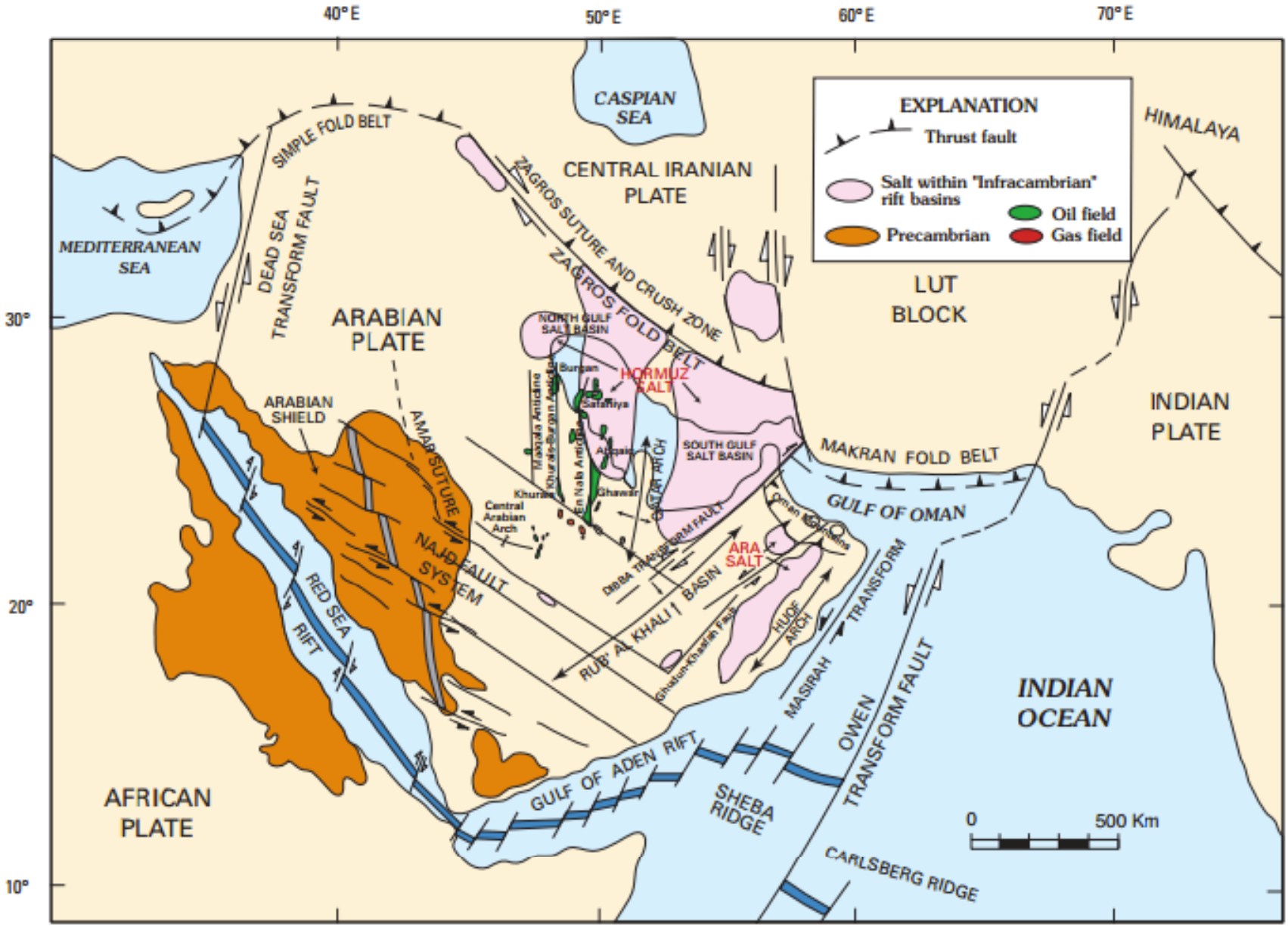
1ο Συμπέρασμα

1. Λόγω της πληθώρας των άμεσα και έμμεσα εμπλεκομένων και όσων έχουν λόγο ή επιρρεάζονταν από την εξέλιξη του έργου.
2. Με την απαίτηση για έντεχνη ολοκλήρωση εντός κόστους και λειτουργία εντός ιδιαίτερα στενού χρονοδιαγράμματος.
3. Με την τήρηση όλων των κανόνων υγείας και ασφαλείας στο έργο και την απαίτηση για βιώσιμο σχεδιασμό (sustainability)

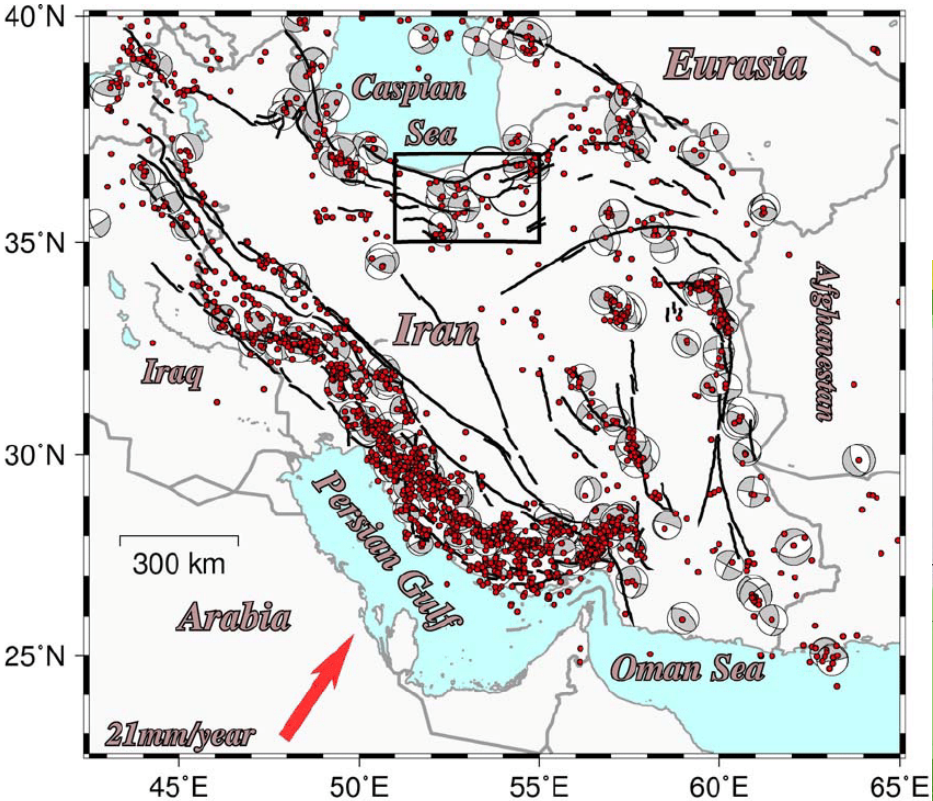
Η διαχείριση των διεπιφανειών και του στενού συντονισμού όλων των ενδιαφερομένων απετέλεσε κατά την γνώμη μου το <u>μεγαλύτερο ρίσκο</u>.

Hamad International Airport
QATAR

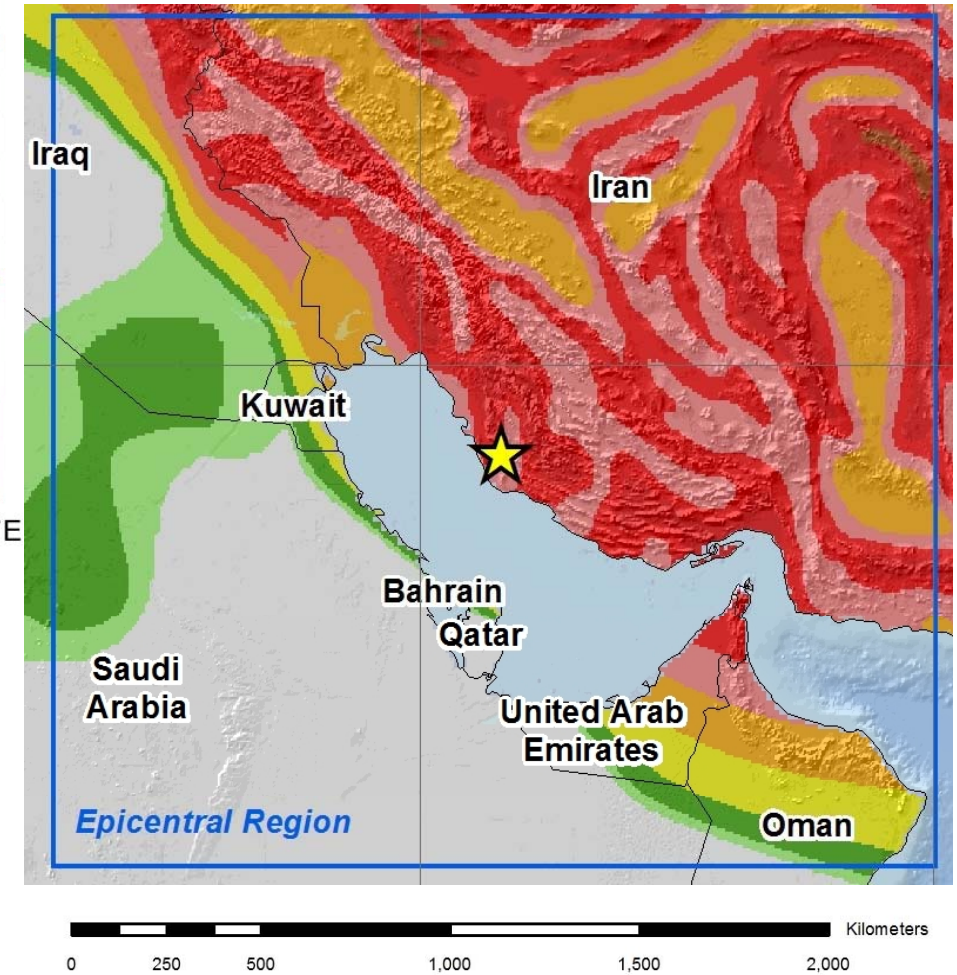
Λίγα πράγματα για την Γενική Γεωλογία

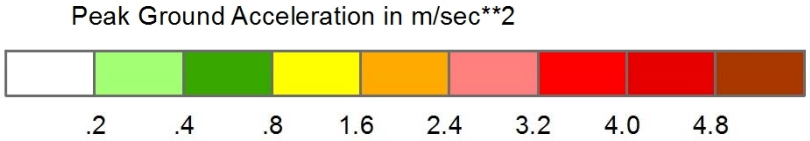


USGS



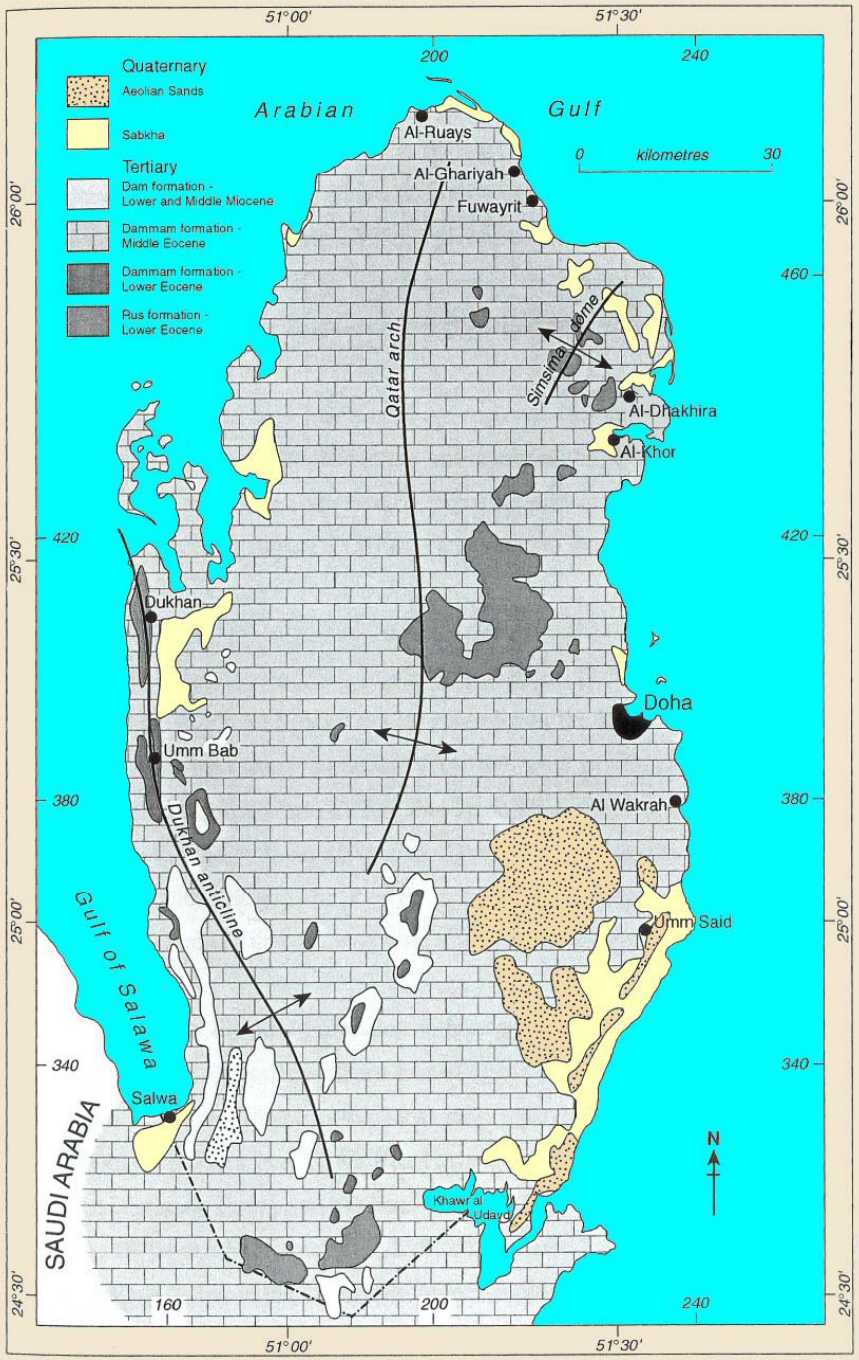
Seismic hazard is expressed as peak ground acceleration (PGA) on firm rock, in meters/sec², expected to be exceeded in a 50-yr period with a probability of 10 percent.





(Πηγή USGS 09.04.2013)

Η σεισμική επικινδυνότητα είναι ελάχιστη με επιτάχυνση σχεδιασμού a = 0.07g

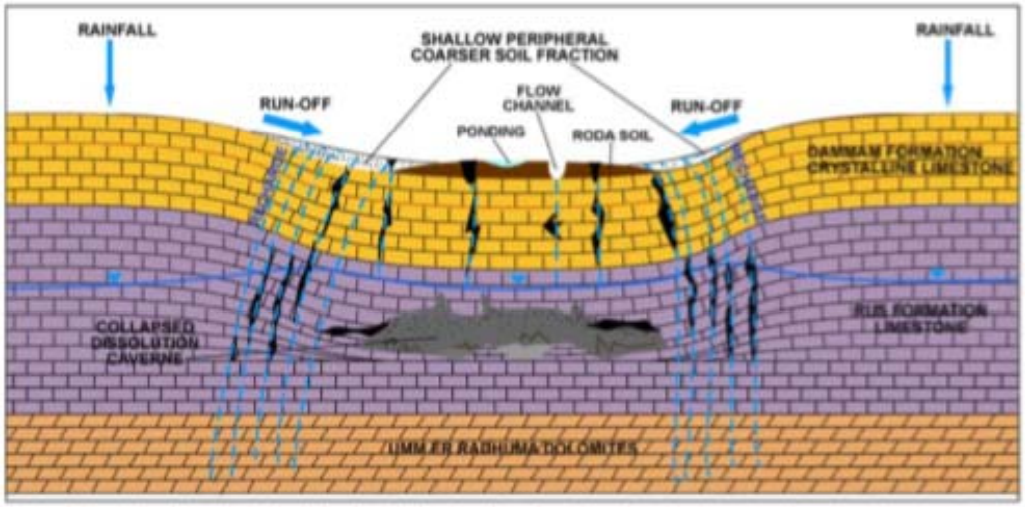


Simplified geological map of the Qatar Peninsula, modified after UNDP, 1978 and Al-Yousef (2003). Not all structures and sand deposits are shown.

Ian West & Tonya West (c) 2006.

Το Κατάρ χαρακτηρίζεται από δύο πολύ ήπιες αντικλινικές μορφές όπου κυρίως ανθρακικοί με λεπτοκοκκώδεις κλαστικές ενστρώσεις σχηματισμοί ρηχής θάλασσας και εβαπορίτες κυριαρχούν. Το έδαφος κλίνει πολύ ήπια με μέγιστο υψόμετρο ως 110 m.

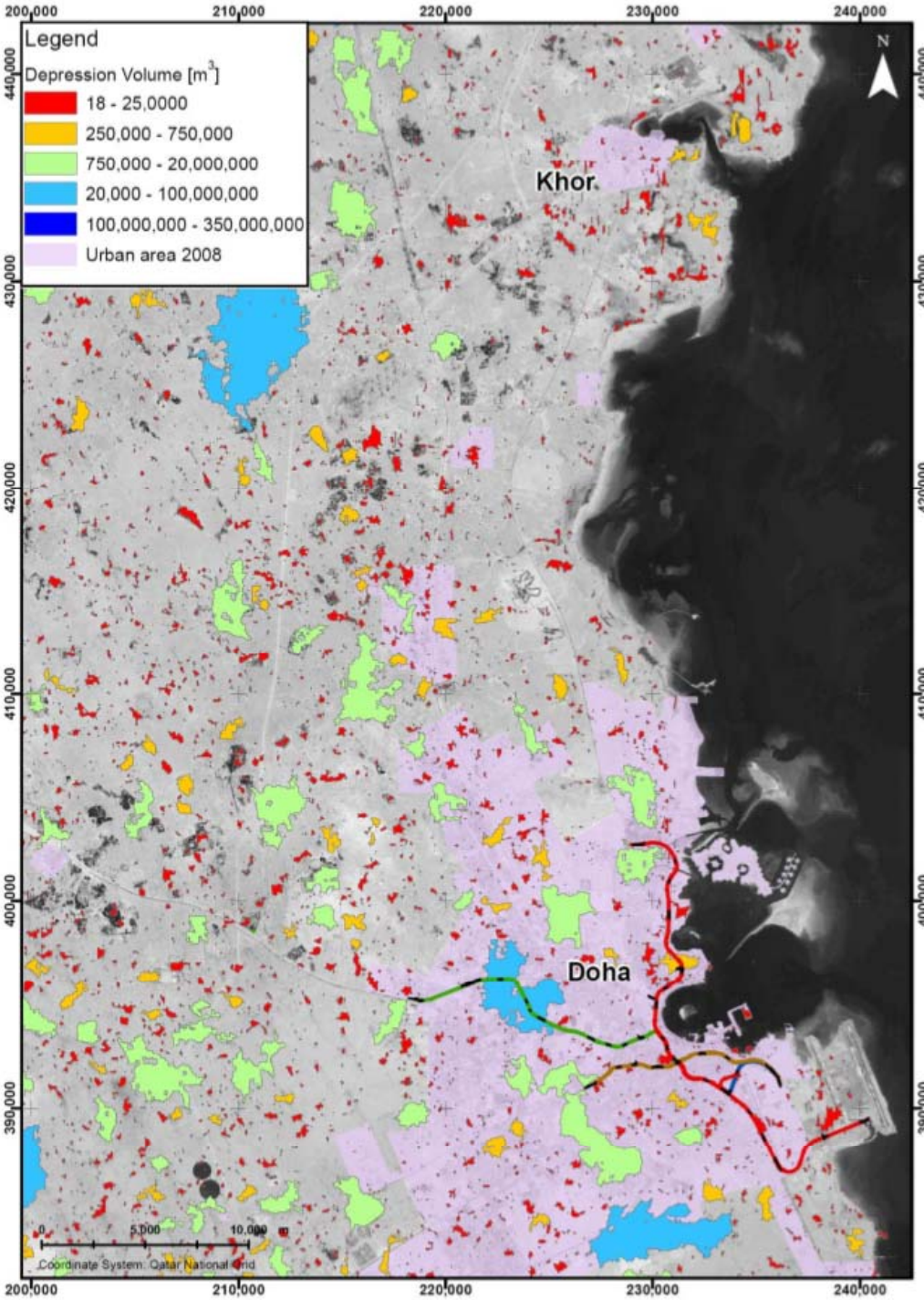
Οι διαδοχικές ευστατικές κινήσεις της πλατφόρμας σε συνδυασμό με ευδιάλυτα συστατικά (λ.χ. γύψος, ανυδρίτης, ασβεστίτης) των πετρωμάτων ευνόησε εκτεταμένη καρστική διάλυση. Υπάρχουν 22.000 ρηχές πόλγες και δολίνες, αρκετές σπηλαιώσεις και υπόγειοι αγωγοί διαφόρων μεγεθών.



Schematic cross-section of karstic depression (Source: modified after Eccleston 1981)

AGE		FORMATION	MAX THICK,	EVENTS ETC.
QUATERNARY		Surficial Deposits	variable	Isolation of Qatar by marine transgr.
PLIOCENE				Central Arch and Dukhan Anticline well-defined, and with complete emergence
UPPER MIOCENE		Hofuf	12m	Central Arch Uplift
MIDDLE MIOCENE		Dam, Upper	50m	
		Dam, Lower	30m	
UPPER EOCENE & ALL OLIGOCENE		(Hadrukh - not in Qatar)		Central Arch Uplift Complete Emergence
MIDDLE EOCENE		Dammam, Upper	50m	dolomites and limestones
MIDDLE EOCENE		Dammam, Lower	12m	limestones and Midra Shales
LOWER EOCENE		Rus	110m	Basin isolation
PALAEOCENE		Umm er Rhaduma	300m	

TERTIARY STRATAL SEQUENCE AND GEOLOGICAL EVENTS OF QATAR. A simplified diagram after Cavelier (1970) and Al-Yousef (2003). The Dammam Formation is the major unit that crops out over most of Qatar. There are small outliers of Dam Formaion, and some inliers of Rus Formation. (Ian West and Maryam Mustafa Al-Mulla © 2012).



Ministry of Environment 2010, Schott & Rausch (2008)

Formation	Member	Typical Thickness (m)	Description	Rock Type	RT
Overburden	Un-consolidated overburden	< 10	Made ground	Made Ground	MG
		Variable	Marine sediments, beach deposits	Marine sediments	MA
		Variable	Residual soils	Residual soils	RES
	Caprock	< 2	Cemented marine sediments	Caprock	CAP
Upper Dammam	Simsima Limestone and Dolomite	< 30	Buff to pale brown limestone with silt/clay/mud(stone) pockets, variably dolomitic: basal layers: micritic limestone beds top layers: breccia-like appearance with micritic and/or dolomitic limestone fragments in chalky/clayey/silty matrix	Simsima Limestone	SL
				Simsima Clay	SC
Lower Dammam	Midra Shale	0 - 10	Yellow brown, laminated, occasional fissile shale, fossiliferous, with limonite and phosphate nodules	Midra Shale	MS
Rus	Carbonate Member	< 20	Cyclic sequence of whitish to light brown chalky limestone with layers of intercalated green/brown attapulgitic clay / siltstones or marls	Rus (chalky) limestone	RCH
				Rus siltstone/silt	RSI
	Sulfate Member	30 - 110	Whitish, grayish to bluish green gypsum and anhydrite with intercalations of green to bluish argillaceous mudstone and occasional limestone	Rus Clay	RC
				Rus Gypsum	RG

Στο έργο σημαντικοί ήσαν οι σχηματισμοί Simsima (ασβεστιτικός), Midra (αργιλικός) και Rus (ασβεστιτικός και εβαποτιρικός). Οι επιφανειακές στρώσεις ήσαν μικρού πάχους (έως 1,5 m συνήθως)

(Schlumberger, 2012)

Έρευνες και Μελέτες

- Οι έρευνες και οι μελέτες εκπονήθηκαν σύμφωνα με τα κρατικά πρότυπα QCS 2010 και 2014 (βασισμένα σε EN-ISO, ASCE, BS, AASHTO), τους Ευρνκώδικες και λοιπά διεθνή πρότυπα ή προδιαγραφές σε πλεόν ειδικά θέματα.
- Οι Ανάδοχοι εκτέλεσαν σύμφωνα με την σύμβαση εκτεταμένο πρόγραμμα γεωτεχνικών, γεωφυσικών και υδρογεωλογικών ερευνών και μελετών με σκοπό την εκπόνηση των προμελετών (Detailed Design stage 1) και των οριστικών μελετών (Detailed Design stage 2) εκσκαφής & υποστήριξης υπογείων έργων, ορυγμάτων κατασκευών C&C και ανοικτής γραμμής, επιρροής των εκσκαφών σε παρακείμενες κατασκευές, θεμελιώσεως γεφυρών και υπερυψωμένων σταθμών και λοιπών έργων.
- Σχεδιάστηκαν και ορύχθησαν 1384 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με επί τόπου μετρήσεις SPT, πρεσσιομετρήσεις, δοκιμές υδροπερατότητας και μέτρησης υδροφόρου. Εκτελέστηκε πλήρες πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών και δοκιμών χημικής επιθετικότητας των γεωυλικών και μόλυνσης του νερού. Δεν περιλαμβάνονται οι γεωτρήσεις τοποθέτησης οργάνων γεωτεχνικής παρακολούθησης των εκσκαφών και τυχόν επιπλέον γεωτρήσεις ανάλογα με τις ανάγκες των μελετητών.
- Σύμφωνα με την σύμβαση εκτελέστηκε πλήρες πρόγραμμα γεωφυσικών διασκοπίσεων MASW (multichannel analysis of surface waves) & Ηλεκτρικών κατά μήκος της χαράξεως και πέριξ των σταθμών για τον εντοπισμό μεγάλων καρστικών εγκοίλων ή τον προσδιορισμό ζωνών χαμηλής πυκνότητας. Η αποτελεσματικότητά τους είναι ικανοποιητική ως τα -25m.
- Επειδή οι σήραγγες είναι δίδυμες οι γεωφυσικές γραμμές ακολούθησαν κάθε κλάδο χωριστά.
- Το πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης ακολούθησε την μελέτη επιρροής των εκσκαφών αφού πρώτα έγινε μελέτη τρωτότητας και σπουδαιότητας των παρακείμενων κατασκευών και δικτύων εντός της εκτιμόμενης ζώνης επιρροής σύμφωνα με την σύμβαση.
- Μελετητής – DVE – PMC - QRC – Statement of No Objection / No Objection With Comments / Rejection

Οι σχηματισμοί διαιρέθηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με την διάβρωση (Fresh – Slightly –Moderately – Highly Weathered, Residual Soil) που υπέστησαν και τους δείκτες RQD και TCR για την καλύτερη αποτύπωση του γεωτεχνικού μοντέλου. Λόγω της φύσεως των υλικών αλλά και της απουσίας πολύ έμπειρων γεωτρυπανιστών το RQD σπανίως υπερέβη το 50%.

HWSL (1a)

MWSL (2a[b])

SWSL (3a)

SL (4)

Πηγή : Karagkounis, Latapie, Sayers and Mulinti (2016), Geology and geotechnical evaluation of Doha rock formations , ICE, Geotechnical Research Volume 3 Issue 3.

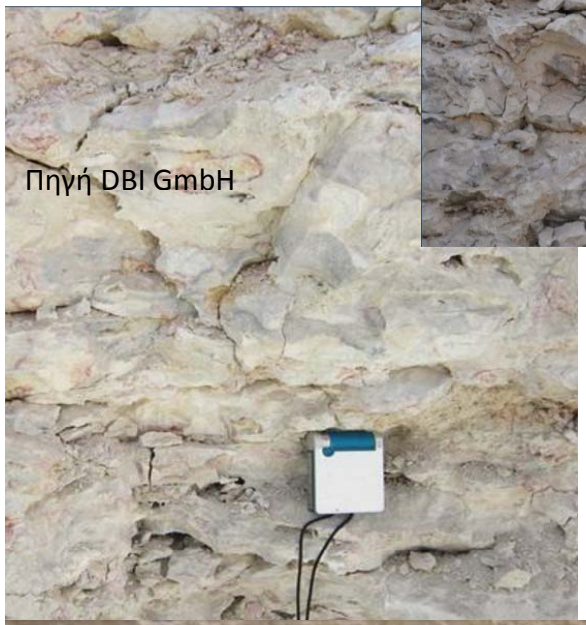
Γεωτεχνική Σύνοψη

1. Συνοπτικά το εύρος των γεωτεχνικών παραμέτρων ανά σχηματισμό ήταν πολύ μεγάλο, σχετιζόμενο πέραν των τοπικών ιδιαιτεροτήτων (σχηματισμοί αβαθούς θάλασσας ή λιμνοθάλασσας , διάβρωση ή εναπόθεση κονδύλων γύψου λόγω ανύψωσης, διάφορες ενστρώσεις, κλπ). Η μονοαξονική αντοχή των βράχων κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 5 και 30 MPa (ασθενείς έως μέτρια ισχυροί), ενίοτε δε έως τα 50 MPa.
2. Ομοίως η διακύμανση των τιμών RMR89 ήταν σημαντική όπως και του δείκτη GSI ακόμη και μέσα στα όρια της ίδιας διαβάθμισης διαβρώσεως του πετρώματος (λχ MWSL). Κατά την γνώμη του γράφοντος η χρήση του GSI στα συγκεκριμένα υλικά ήταν ενίοτε οριακή, καθοριζόμενη από την τυχαιότητα και τον επαρκή αριθμό ασυνεχειών
3. Τα υλικά όμως παρουσιάζουν γενικά ικανοποιητική συνοχή και γωνία τριβής διευκολύνοντας την ευστάθεια και επειδή είναι σχετικώς μαλακά διευκόλυναν τους ρυθμούς εσκαφής.
4. Μέτρα υποστήριξης σταθεροποίησης των πρανών των σταθμών ελήφθησαν ανάλογα των εκτιμόμενων γεωσυνθηκών, του βάθους εκσκαγής, της ευαισθησίας ή της σπουδαιότητας παρακείμενων κατασκευών, της γειτνίασης με την θάλασσα και κυμάνθηκαν από διαφραγματικούς τοίχους, πασσαλοστοιχίες πάσης φύσεως έως ανυποστήρικτα πρανή.

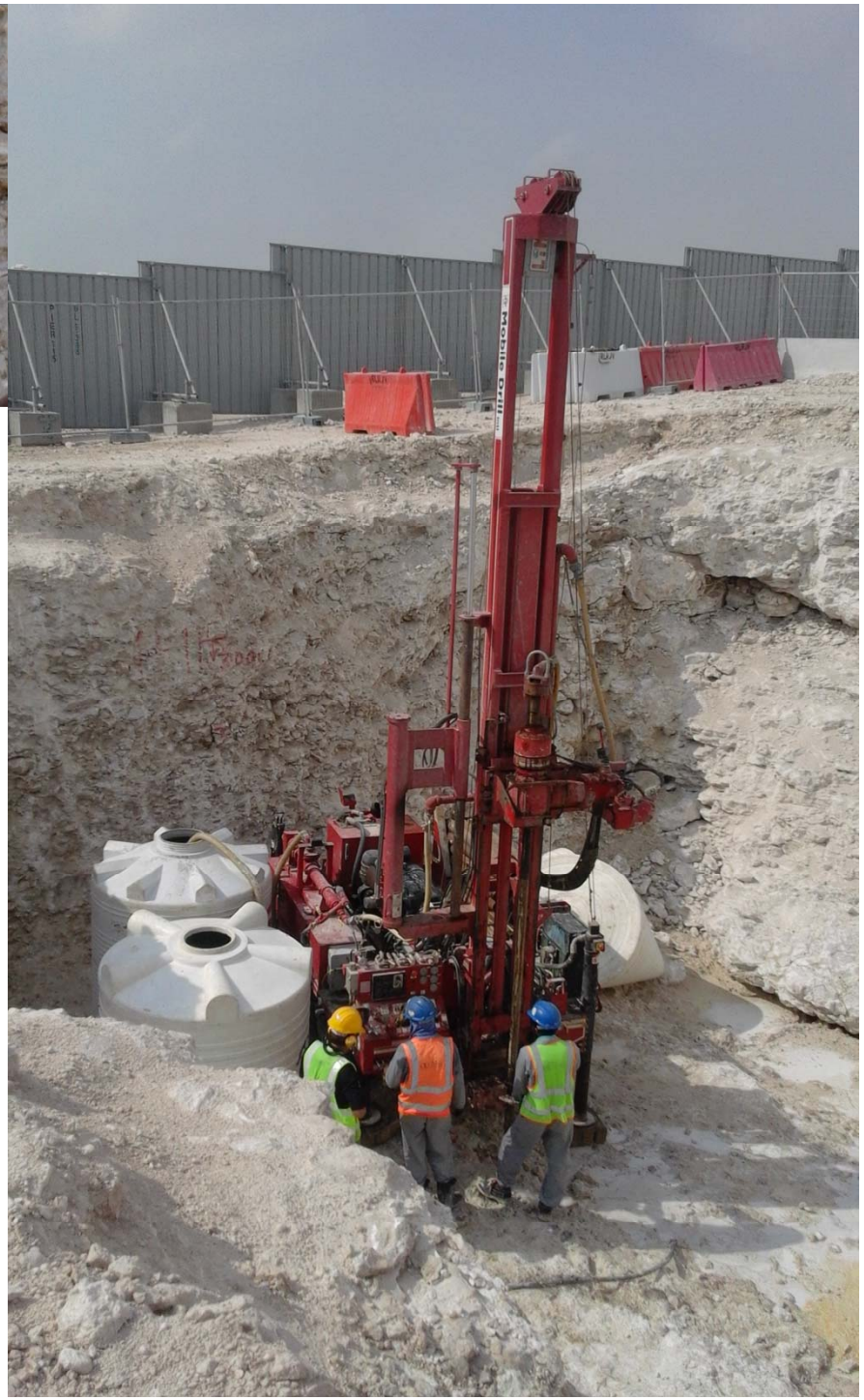
Rock unit	Parameter						Equivalent Mohr–Coulomb parameters	
	Unit weight, γ: kN/m^3	UCS: MPa	Rock mass Young's modulus, E_{RM}: MPa	Poisson's ratio, ν	Coefficient or at-rest pressure, K_0	Permeability, k: m/s	Angle of internal friction, ϕ: °	Cohesion, c′: kPa
HWSL	19–21	—[a]	125–275	0·19–0·24	0·7–0·9	$3{\cdot}1 \times 10^{-6}$–$3{\cdot}0 \times 10^{-4}$	21–33	33–105
MWSL	20–25	5–17	250–1250	0·16–0·27	0·7–0·9	$3{\cdot}1 \times 10^{-7}$–$4{\cdot}0 \times 10^{-4}$	33–47	60–210
SWSL	21–24	6–20	1000–4650	0·15–0·29	0·7–0·9	$1{\cdot}6 \times 10^{-6}$–$1{\cdot}7 \times 10^{-4}$	38–50	70–310
SL	20–24	9–23	1500–7150	0·18–0·27	0·7–0·9	$1{\cdot}6 \times 10^{-7}$–$3{\cdot}0 \times 10^{-4}$	42–53	100–440
MS	18–23	5–17	1000–5500	0·17–0·32	0·7–0·9	$9{\cdot}6 \times 10^{-9}$–$6{\cdot}7 \times 10^{-5}$	33–46	40–345
RFL	18–22	4–9	1000–2000	0·23–0·35	0·7–0·9	$5{\cdot}7 \times 10^{-8}$–$4{\cdot}9 \times 10^{-5}$	30–38	30–200
RUS GYP	20–22	5–17	2000–10 500	0·20–0·35	0·7–0·9	$6{\cdot}1 \times 10^{-8}$–$3{\cdot}2 \times 10^{-5}$	35–48	40–400

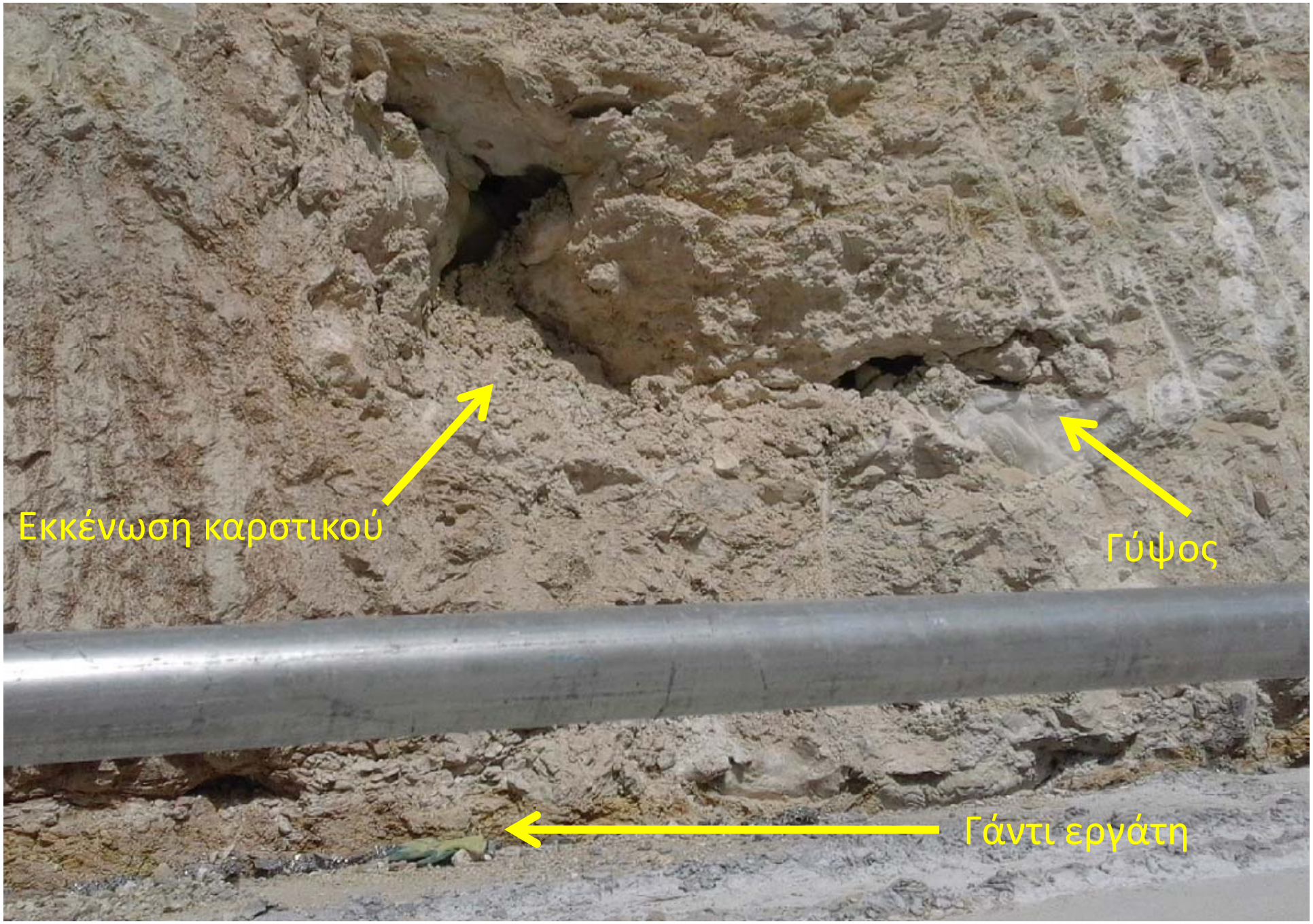
[a] The HWSL unit encountered was generally too weak to enable the recovery of samples large enough to be tested with a UCS apparatus
SL, Simsima Limestone; RFL, Rus Formation Limestone; HWSL, highly weathered Simsima Limestone; MWSL, moderately weathered Simsima Limestone; SWSL, slightly weathered Simsima Limestone; MS, Midra Shale; RUS GYP, Rus Gypsum

Πηγή : Karagkounis, Latapie, Sayers and Mulinti (2016), Geology and geotechnical evaluation of Doha rock formations , ICE, Geotechnical Research Volume 3 Issue 3.

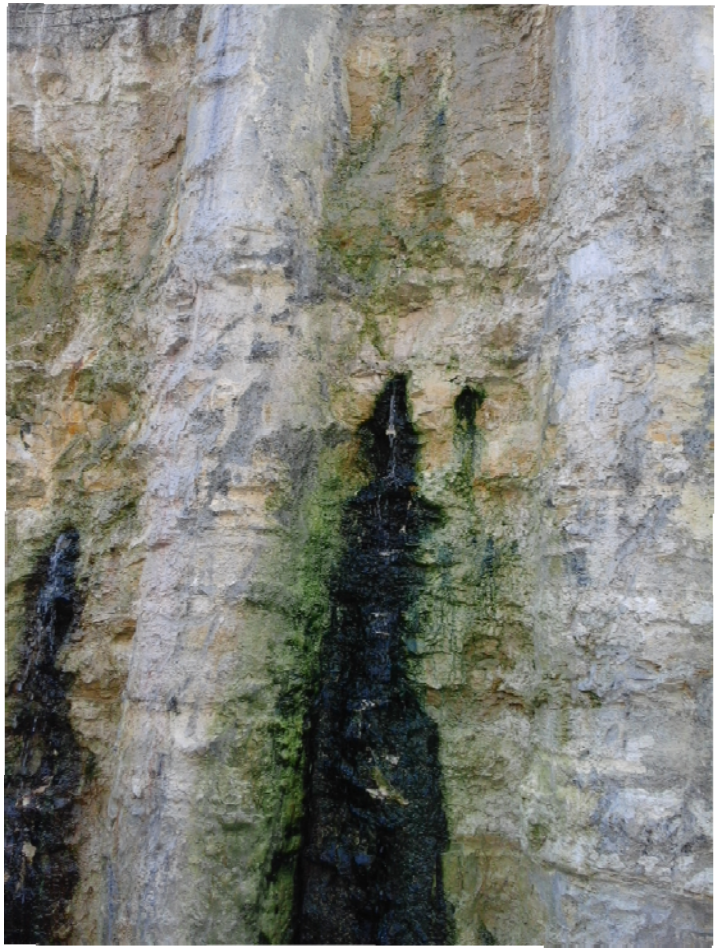


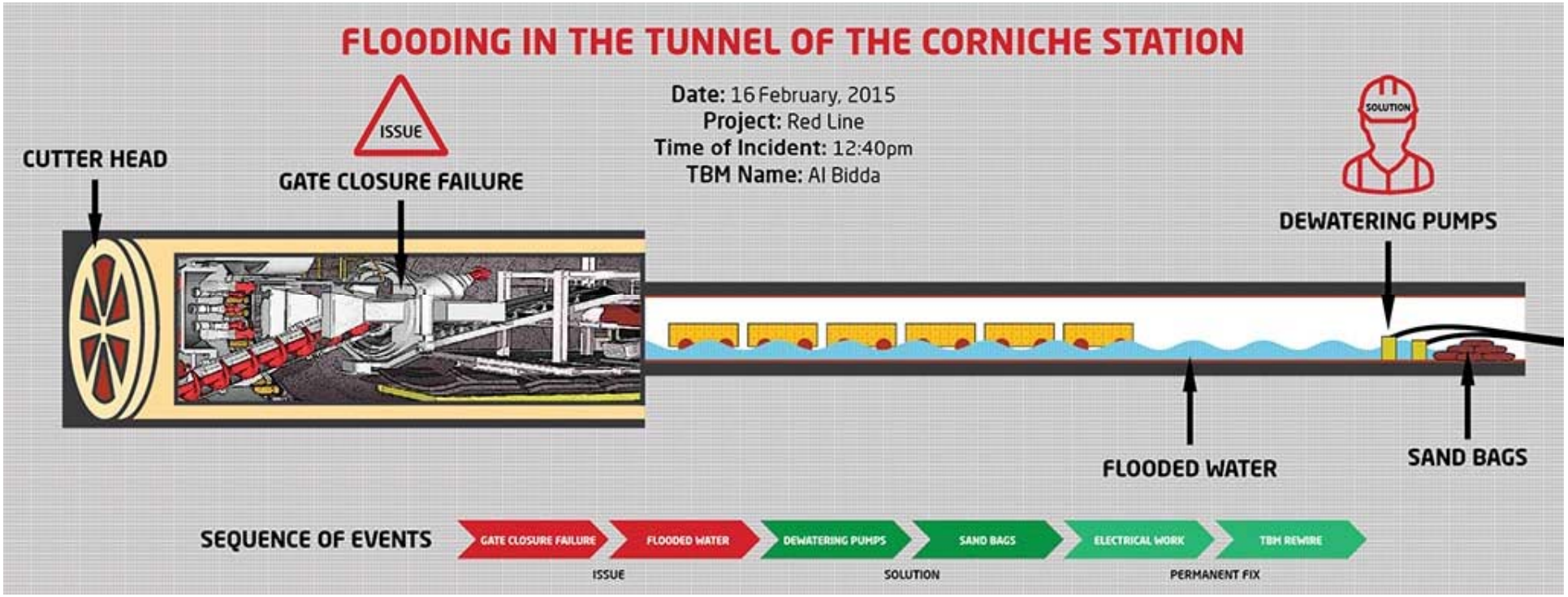
Καρστική διάλυση σε σκάματα στην ευρύτερη περιοχή




Εκκένωση καροτικού
Γύψος
Γάντι εργάτη

Πάσαλλοι εν επαφή με διπλή σειρά προεντεταμένων αγκυρίων
Ροή νερού στην επαφή του ασβεστιτικού σχηματισμού Simsima με τον αργιλικό Midra shale



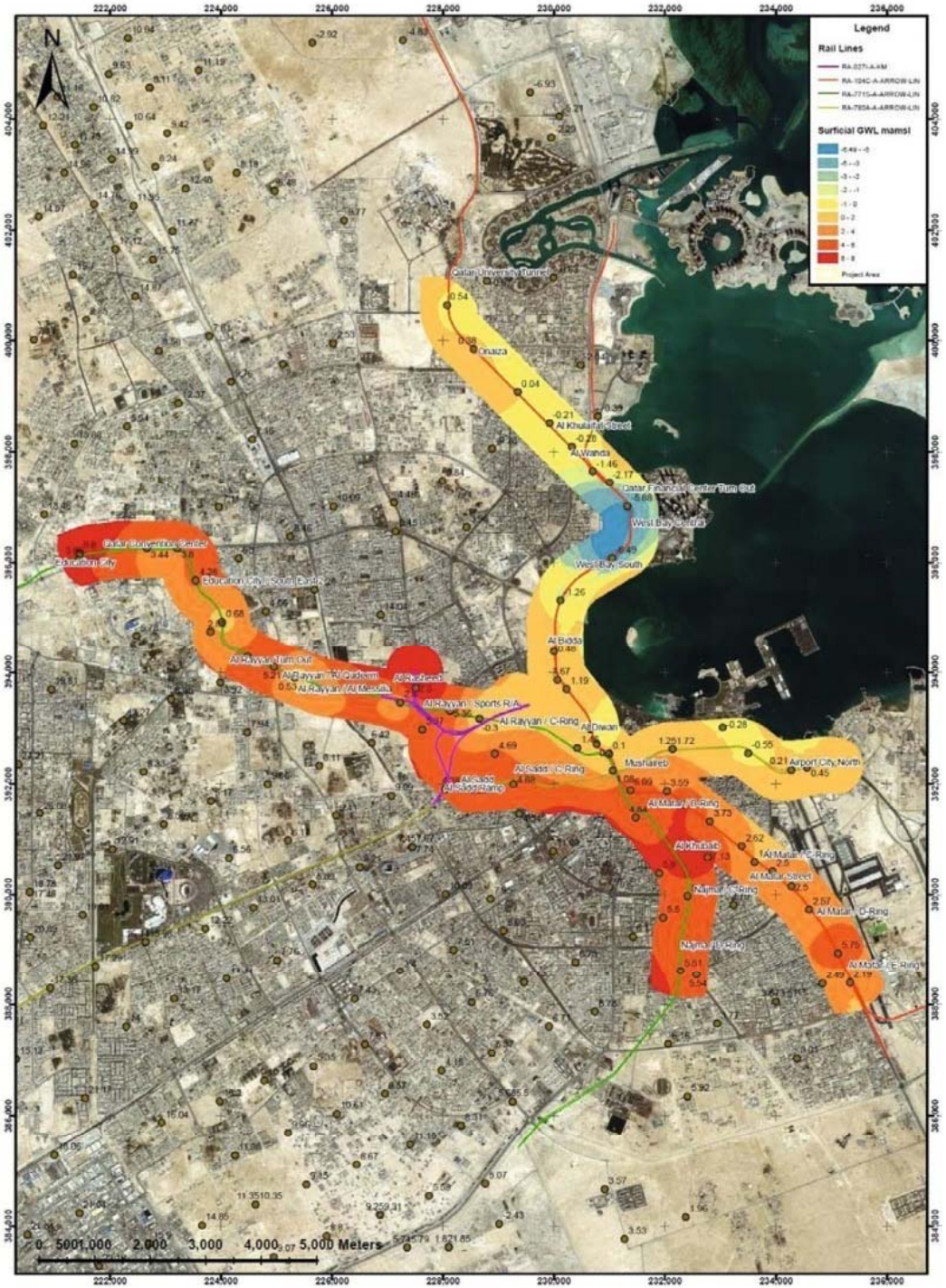


"The TBM that was boring the tunnel encountered a gate closure failure and flooding in the tunnel. We reacted immediately to the incident by discharging water through pumping, with planning for recovery and mitigation. Dewatering wells were installed and surface dewatering commenced in early March. An intense repair period for the TBM followed, involving general cleaning as well as tunnel preparation for removal, refurbishment, re-installation inside the TBM and electrical and mechanic cabling. It is a lengthy process that we have productively managed to complete in a remarkably short timeframe and efficient manner".

Gerhard Cordes, Red Line Project Manager at Qatar Rail

Η πλημμύρα του TBM κόστισε 3 μήνες καθυστέρηση. Το TBM εκκενώθηκε και άρχισε η άντληση ενώ δημιουργήθηκε στεγανός φραγμός γύρω από το TBM. Ο καθαρισμός, η αλλαγή καλωδιώσεων και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, αποκατάσταση σε μηχανολογικές βλάβες (80% του TBM ανακαινίστηκε) έγινε πολύ γρήγορα από ειδικευμένα συνεργεία

Πηγή : http://www.qatarisbooming.com/article/qatar-rail%E2%80%99s-tunnel-boring-machine-re-launched-corniche-metro-station-site

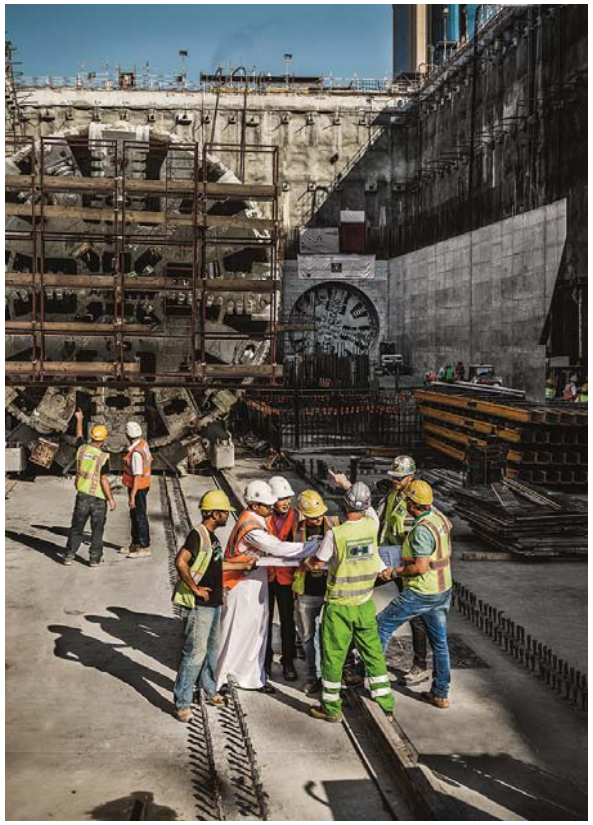


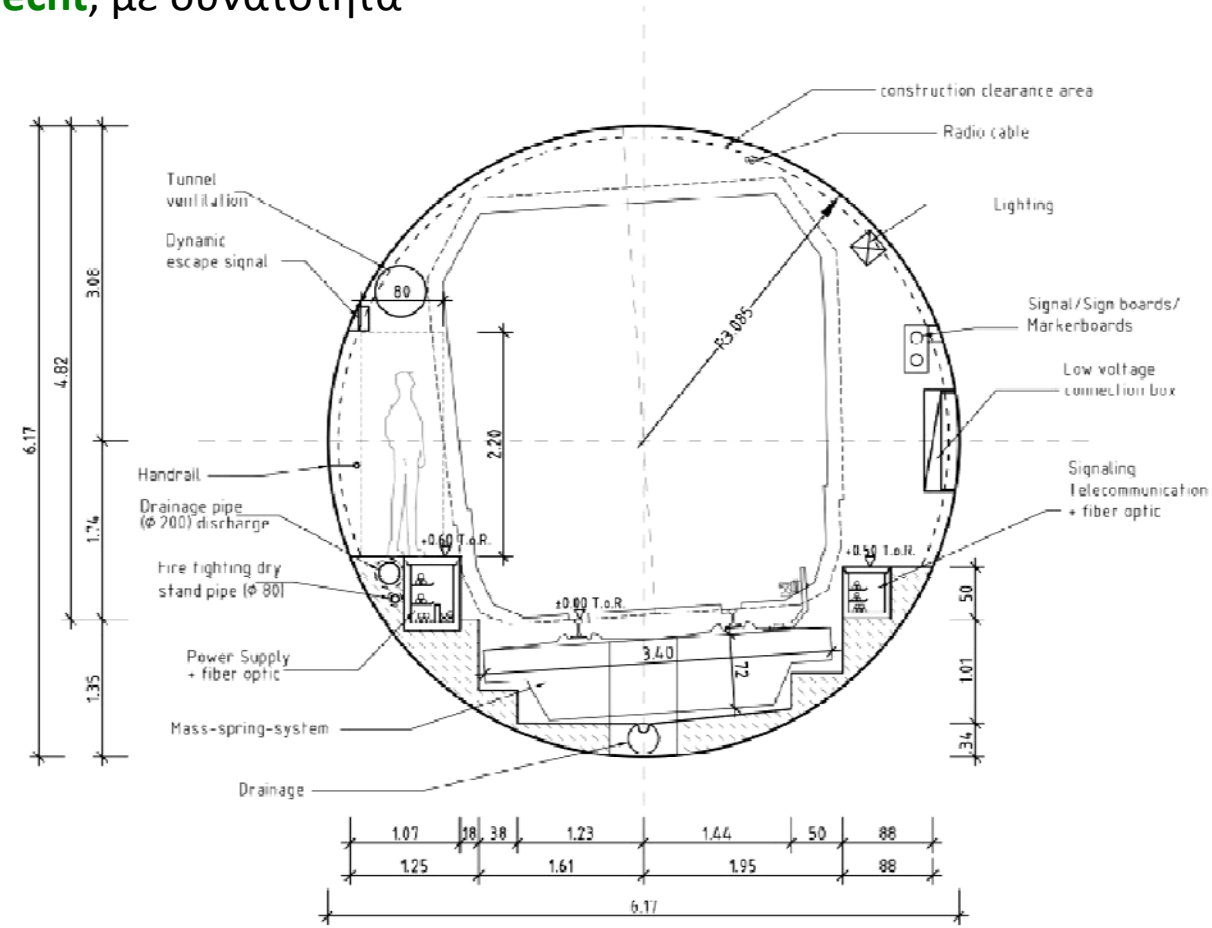
- Το υπόγειο νερό ενίοτε περιέχει υψηλά ποσοστά θειϊκών (έως και 4.000 mg/l) και χλωριόντων (έως και 54.000 mg/l). Αν και σπάνιο, σε τέτοιες συνθήκες η επιθετίκότητα του νερού προσβάλει το σκυρόδεμα και τον χάλυβα. Οι τιμές ph ποικίλουν από 6.1 έως 8.5 (Simsima) και 6.5 έως 8.5 (Rus Limestone). Γι αυτό οι απαιτήσεις ανάπτυξης ρωγμών συστολής και την επικάλυψη είναι πολύ αυστηρές.
- Ο επιφανειακός υδροφόρος ήδη από το 2011 κυμαινόταν πολύ κάτω από το επίπεδο θάλασσας εξ αιτίας των σημαντικών αντλήσεων λόγω υφιστάμενων έργων (μπλέ 0 έως 1m, κόκκινο -6 έως -8m).
- Οι συνεχείς διακυμάνσεις όσο και η έντονη άντληση για τα έργα μπορεί να προκαλεί βελτίωση της περατότητας και να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στις νεότερες κατασκευές

(Πηγές : http://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel_2012-05_The_Doha_Metro_Tunnelling_in_special_Dimensions_1459895.html, Al Akhras K., Al Meraikhi A. (2015), Geotechnical studies for Qatar Roadways , 15th Pan Americal Conf. Soil Mechanics & Geot. Engngn, Buenos Aires)

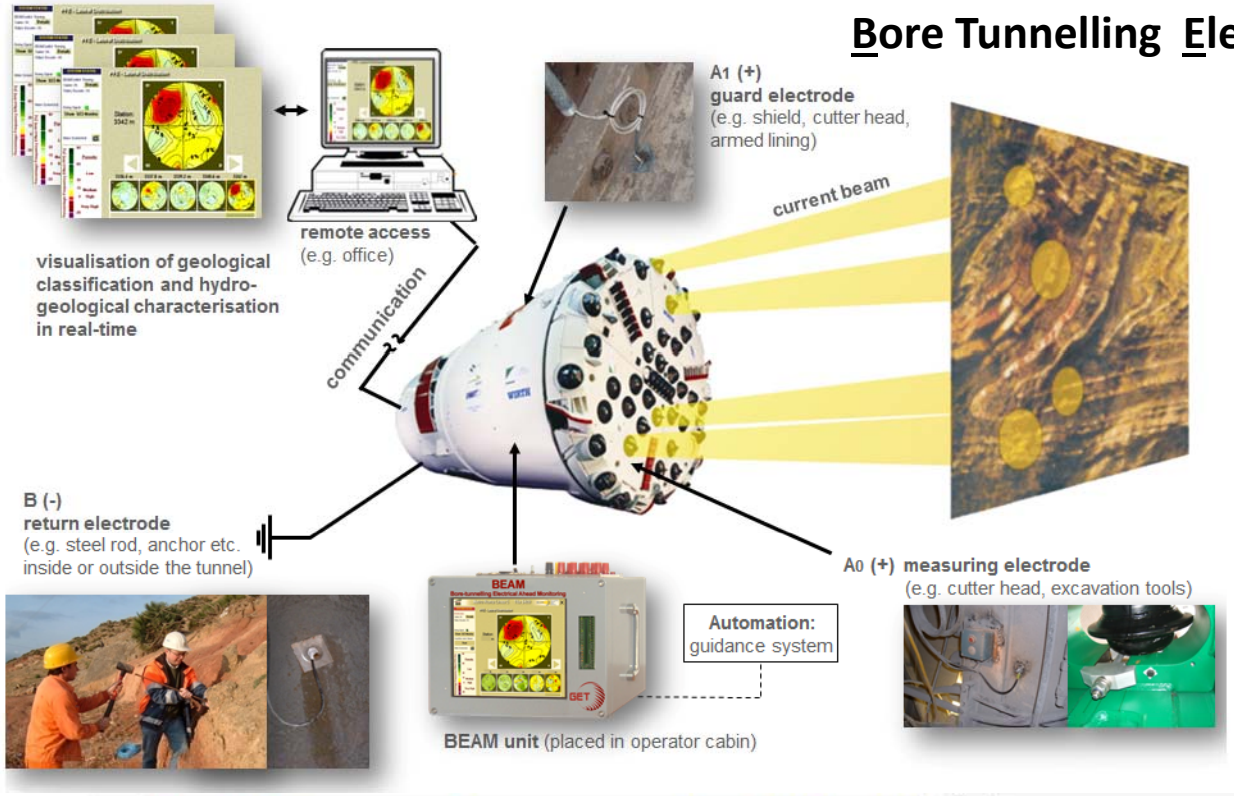
ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ

Οι σήραγγες δίδυμες, μονής τροχιάς με εσωτερική ακτίνα χρήσης 3,085m και συνδετήριες εγκάρσιες στοές κάθε 250m. Η διάμετρος κοπής ήταν 7,05 έως 7,11m. Η διάνοιξη των σηράγγων έγινε με 21 μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με δυνατότητα εξισορρόπησης τάσεων (Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machines) EPB TBMs της **Herrenknecht**, με δυνατότητα χρήσης τεχνολογίας BEAM®.

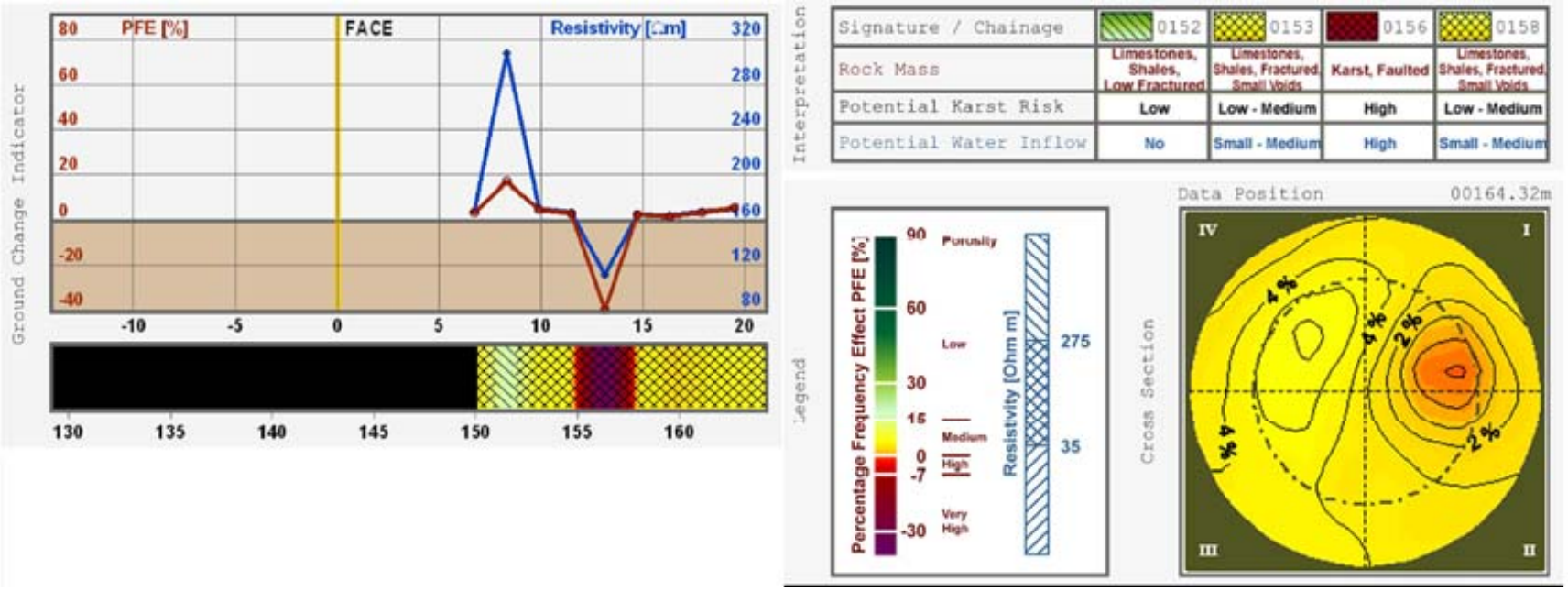




Bore Tunnelling Electrical Ahead Monitoring



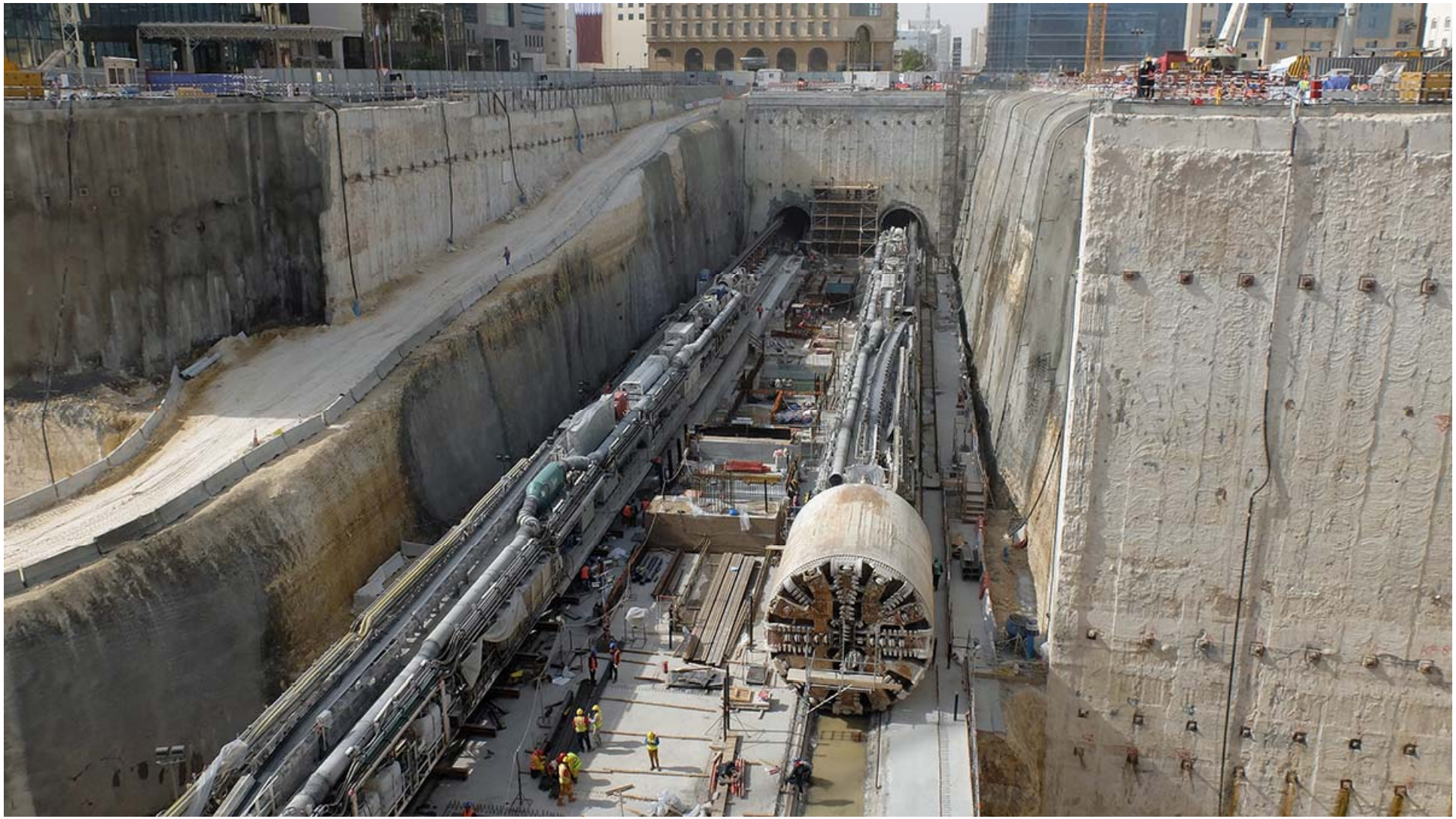
Γεωηλεκτρική πρόγνωση εδαφικών συνθηκών σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια της όρυξης με το TBM. Το σύστημα BEAM® είναι μια μη καταστροφική τεχνική πρόγνωσης του εδάφους μπροστά από την κοπτική κεφαλή, η οποία βασίζεται στην διαφορετική πολικότητα που προκαλείται από ηλεκτρική διέγερση του εδάφους. Η πηγή και οι δέκτες είναι σε μόνιμη λειτουργία καθ όλη την διάρκεια της εκσκαφής.



- Χρησιμοποιήθηκαν 470.497 προκατασκευασμένα στοιχεία τελικής επένδυσης από ινοπλισμένο σκυρόδεμα τα οποία σχημάτισαν 70.071 δακτυλίους. Ο συνδυασμός ινών - σκυροδέματος επελέγη λόγω της αναμενόμενης επιθετικότητας του υπογείου περιβάλλοντος και συμπεριφέρθηκε πολύ καλά. Μόνον σε ιδιαίτερες περιπτώσεις (π.χ δίπλα σε συνδετήριες σήραγγες) χρησιμοποιήθηκε γαλβανισμένος χάλυβας για τον οπλισμό των στοιχείων.
- 125 ειδικοί από 19 χώρες είχαν την ευθύνη της απρόσκοπτης λειτουργίας των TBM.
- Τα μηχανήματα στο μέγιστό τους διάνοιξαν 2,5 km σήραγγας σε μία εβδομάδα.

Τελετή παραλαβής των πρώτων TBM τον Φεβρουάριο 2014 στο εργοστάσιο της **Herrenknecht**

Πηγή https://www.tunneltalk.com/Qatar-28Sept2016-Doha-Metro-final-breakthrough.php



- Το πρώτο TBM ξεκίνησε τον Μάρτιο 2014
- Μετά από 72 ξετρυπήματα, το τελευταίο έγινε στις 25 Σεπτεμβρίου 2016
- Τον Αύγουστο 2015 έσπασε το ρεκόρ Guinness όταν λειτούργησαν ταυτόχρονα 20 TBM για ένα μήνα.
- Μέση συνολική ημερήσια παραγωγή 140m, Μέγιστη 490m (27.01.2016)

SELI