

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGENERIA  
CORSO DI LAUREA IN  
INGENERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

TESI DI LAUREA  
IN  
GEORISORSE E RISCHI GEOLOGICI

***PROBLEMATICHE GEOLOGICO TECNICHE NELLA REALIZZAZIONE DI UN  
PARCHEGGIO INTERRATO IN AREA URBANIZZATA***

RELATORE:

**Prof. Paolo Budetta**

CANDIDATA:

**Alessandra Conforti**

Matr. N49/321

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

# Premessa

La presente tesi affronta le problematiche geologico - tecniche correlate alla realizzazione di un parcheggio interrato multipiano in un'area densamente urbanizzata del Comune di Salerno. L'area di intervento, allo stato attuale, ospita in superficie un giardino pubblico e tratti stradali ricadenti su suolo comunale. Il sottosuolo interessato, è formato da riporti antropici, terreni alluvionali e detritico-alluvionali contenenti intercalazioni di materiali piroclastici e rocce sedimentarie appartenenti ad un flysch calcareo-marnoso.



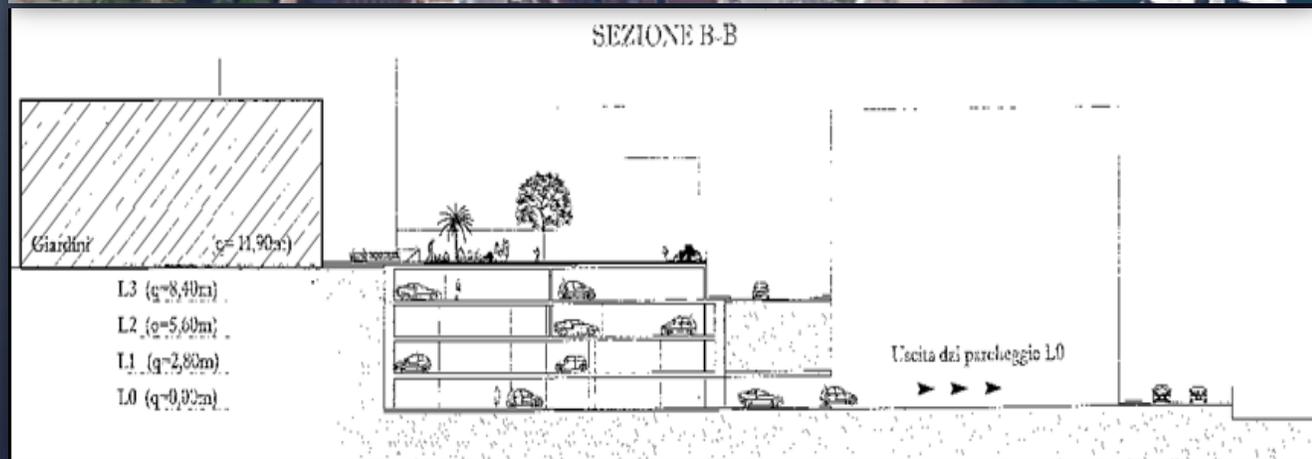
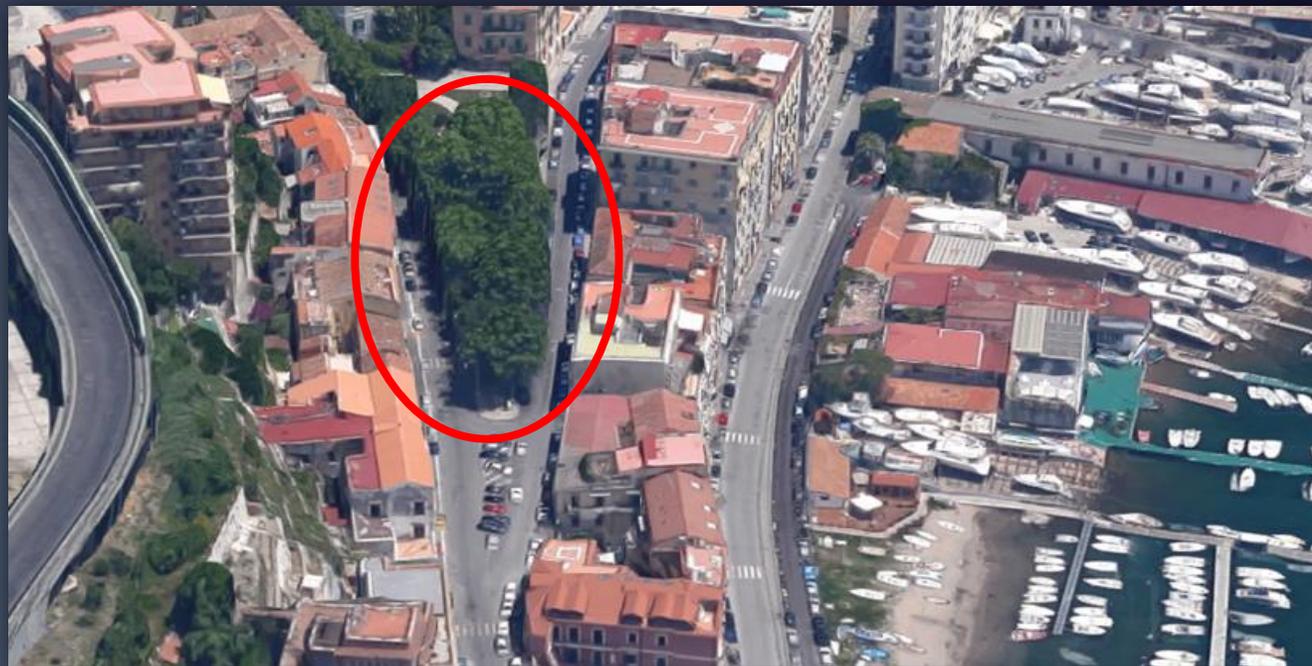
# Obiettivi della Tesi:

- ▶ Definizione delle principali proprietà geomeccaniche della formazione flyshoide complessa interessata dalle opere progettate.
- ▶ Valutazione del rischio idrogeologico connesso alla possibilità che, in occasione di eventi alluvionali, il rilevante trasporto solido, possa invadere il parcheggio attraverso gli accessi veicolari e pedonali, impedendone l'evacuazione.
- ▶ Comportamento in prospettiva sismica delle strutture e delle fondazioni dell'opera.

# Descrizione dell'intervento

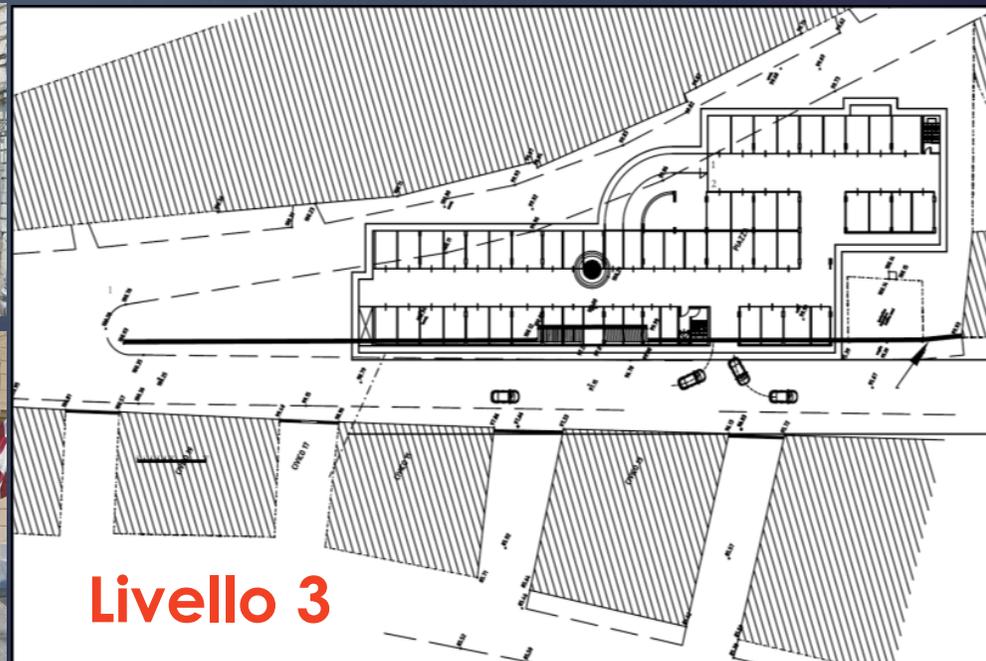
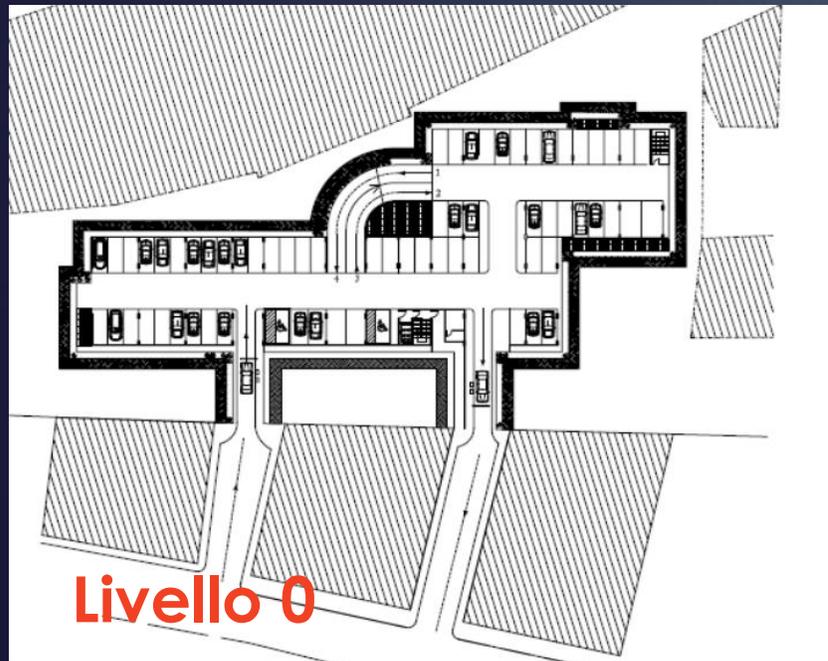
Il progetto prevede una struttura interrata di forma trapezoidale, con un ingombro di circa 2.175 m<sup>2</sup>, adibita a parcheggio e la risistemazione della piazza sovrastante.

Il parcheggio si svilupperà su quattro piani interrati, partendo dalla strada a livello del mare fino alla piazza sovrastante.



# Descrizione dell'intervento

Gli accessi al parcheggio sono previsti dalle due strade attigue alla struttura, posizionate a due quote diverse, in corrispondenza rispettivamente dei livelli 0 e 3. Dal punto di vista strutturale è prevista la messa in opera di paratie di pali trivellati lungo tutto il perimetro dell'area di intervento.



## Assetto litologico



- ▶ L'intervento interesserà riporti antropici, materiali di colmata e materiali detritici da antiche colate antropizzate, granulometricamente costituiti da ghiaie e ciottoli frammisti a sabbie e limi di natura piroclastica. Questi terreni, sciolti, poggiano su di un substrato lapideo ..
- ▶ Il substrato è costituito da calcari marnosi e marne scagliettate di colore grigio-giallastro per effetto di alterazione ( Flysch prevalentemente lapideo a struttura complessa).

# Caratterizzazione Geomeccanica

La caratterizzazione geomeccanica del Flysch è estremamente complessa e problematica poiché l'estrapolazione all'intero ammasso delle proprietà dei materiali più scadenti (argilliti) potrebbe risultare notevolmente penalizzante in termini tecnici ed economici mentre, viceversa, l'attribuzione dei parametri relativi alla sola matrice rocciosa potrebbe risultare troppo riduttiva.

La documentazione tecnica acquisita non ha consentito di valutare correttamente le proprietà geomeccaniche del flysch poiché esso è stato erroneamente attribuito ai terreni sciolti superficiali.

Dato l'elevato grado di fratturazione e complessità strutturale, i sondaggi eseguiti hanno restituito campioni fortemente disturbati (frammenti e detriti sabbiosi)

# Caratterizzazione Geomeccanica

Per la caratterizzazione del flysch si è utilizzato il criterio di rottura di Hoek e Brown (1997). Esso è basato, essenzialmente, su 3 parametri miranti alla definizione delle proprietà di resistenza e deformabilità dell'intero ammasso.

- **resistenza a compressione monoassiale ( $\sigma_{ci}$ )** relativo all'elemento di roccia intatta
- **$m_i$**  costante che definisce le caratteristiche attritive dei componenti minerali della roccia;
- **Geological Strength Index (GSI)** che correla le proprietà dell'elemento intatto di roccia a quelle dell'intero ammasso attraverso la determinazione del volume del blocco roccioso elementare ( $V_b$ ) - a sua volta funzione dell'orientazione delle discontinuità e della loro spaziatura - e delle condizioni delle superfici di discontinuità (alterazione, riempimento, forma, scabrezza, etc.).

# Caratterizzazione Geomeccanica

Considerando la variabilità degli affioramenti del flysch, non è opportuno determinare i parametri  $GSI$ ,  $m_i$ ,  $\sigma_{ci}$  riferendosi ad un solo affioramento o provino, ma conviene fare una media ponderata alla luce di molti dati raccolti e statisticamente analizzati.

Una volta definiti i parametri del criterio di rottura di Hoek-Brown, è possibile risalire ai valori di coesione ed attrito equivalenti del criterio di rottura di Mohr-Coulomb, per l'intero ammasso roccioso analizzato mediante le seguenti formule:

coesione equivalente:

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[ (1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left( 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}}$$

angolo di attrito equivalente:

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

La formula generalizzata per il criterio di rottura di Hoek-Brown è espressa da:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)$$

# Caratterizzazione Geomeccanica

I parametri di resistenza al taglio equivalenti del criterio di **Mohr-Coulomb** sono stati calcolati mediante il seguente approccio:

Input:

sigc = 10 MPa	mi = 10	GSI = 30
Depth of failure surface or tunnel below slope = 25 m		Unit wt. = 0.027 MN/m3

Output:

stress = 0.68 MPa	mb = 0.82	s = 0.0004
a = 0.5	sigtm = -0.0051 MPa	A = 0.4516
B = 0.7104	k = 3.95	phi = 36.58 degrees
coh = 0.136 MPa	sigcm = 0.54 MPa	E = 1000.0 MPa

Calculation:

sig3	1E-10	0.10	0.19	0.29	0.39	0.48	0.58	0.68	Sums	2.70
sig1	0.20	1.01	1.47	1.84	2.18	2.48	2.77	3.04		14.99
ds1ds3	21.05	5.50	4.22	3.64	3.29	3.05	2.88	2.74		46.36
sign	0.01	0.24	0.44	0.62	0.80	0.98	1.14	1.31		5.54
tau	0.04	0.33	0.50	0.64	0.76	0.86	0.96	1.05		5.14
x	-2.84	-1.62	-1.35	-1.20	-1.09	-1.01	-0.94	-0.88		-10.94
y	-2.37	-1.48	-1.30	-1.19	-1.12	-1.06	-1.02	-0.98		-10.53
xy	6.74	2.40	1.76	1.43	1.22	1.07	0.96	0.86		16.45
xsq	8.08	2.61	1.83	1.44	1.19	1.02	0.88	0.78		17.84
sig3sig1	0.00	0.10	0.28	0.53	0.84	1.20	1.60	2.05		7
sig3sq	0.00	0.01	0.04	0.08	0.15	0.23	0.33	0.46		1
taucalc	0.04	0.32	0.49	0.63	0.76	0.87	0.97	1.07		
sig1sig3ft	0.54	0.92	1.30	1.68	2.06	2.45	2.83	3.21		
sigtauft	0.14	0.31	0.46	0.60	0.73	0.86	0.98	1.11		

Cell formulae:

```

sigma_c = stress = I[depth>30, sigc*0.25,depth*unitwt*0.25]
mb = mi*EXP((GSI-100)/28)
s = F(GSI-25,EXP((GSI-100)^3),0)
a = F(GSI-25,0.5,0.65-GSI/200)
sigtm = 0.5*sigc*(mb-SQRT(mb^2+4*s))
sig3 = Start at 1E-10 (to avoid zero errors) and increment in 7 steps of stress/28 to stress/4
sig1 = sig3-sigc*((mb*sig3/sigc)+s)*a
ds1ds3 = F(GSI-25,(1+(mb*sigc)/(2*(sig1-sig3))),1+(a*mb*a)*(sig3/sigc)^(a-1))
sign = sig3+(sig1-sig3)/(1+ds1ds3)
tau = (sign-sig3)*SQRT(ds1ds3)
x = LOG((sign-sigtm)/sigc)
y = LOG((au/sigc))
xy = x*y
xsq = x^2
A = acalc = 10*(sumy/8 - bcalc*sumx/8)
B = bcalc = (sumx - (sumx*sumy/8)/(sumxsq - (sumx^2)/8))
k = (sumsig3sig1 - (sumsig3*sumsig1)/8)/(sumsig3sq-(sumsig3^2)/8)
phi = ASIN((k-1)/(k+1))*180/PI()
coh = sigcm/(2*SQRT(k))
sigcm = sumsig1/8 - k*sumsig3/8
E = F(sigc>100,1000*10*(GSI-10)/40,SQRT(sigc/100)*1000*10*(GSI-10)/40)
phit = (ATAN(acalc*bcalc*((sigtm-sigtm)/sigc)/(bcalc-1)))*180/PI()
coht = acalc*sigc*((sigtm-sigtm)/sigc)*bcalc-sigtm*TAN(phi*PI()/180)
sig3sig1 = sig3*sig1
sig3sq = sig3^2
taucalc = acalc*sigc*((sign-sigtm)/sigc)*bcalc
s3sift = sigcm+k*sig3
sntauft = coh+sign*TAN(phi*PI()/180)
    
```

Input data (intact rock)	Output data		
sc = 50.0 MPa  GSI = 20  mi = 8	Parameters of H&B criterion	Rock mass parameters	Mohr – Coulomb criterion
	mb = 0.459  s = 0.0001  a = 0.544	st = - 0.015 MPa  sc = 0.398 MPa  scm = 3.60 MPa  Em = 2055.22 MPa	c = 1.26 MPa  φ = 20°

# Rischio Idrogeologico

La valutazione quantitativa del rischio comporta l'utilizzo di formule che tengano conto della pericolosità e delle conseguenze dell'evento su eventuali elementi a rischio:

$$RS = H \times ES \times V = Pi \times V R = RS \times W = Pi \times WL$$

dove:

- R = rischio totale
- RS=rischio specifico
- H = pericolosità
- WL=danno potenziale
- V = vulnerabilità
- Pi = probabilità di impatto =H×ES
- W = valore degli elementi a rischio
- ES = esposizione al rischio degli elementi a rischio

In Italia la valutazione del rischio idraulico è basata sulle disposizioni di Legge contenute nel DPCM del 29 settembre 1998 per l'attuazione del DPCM n°180 del 11 giugno 1998, successivamente convertito nella Legge n°267/1998.

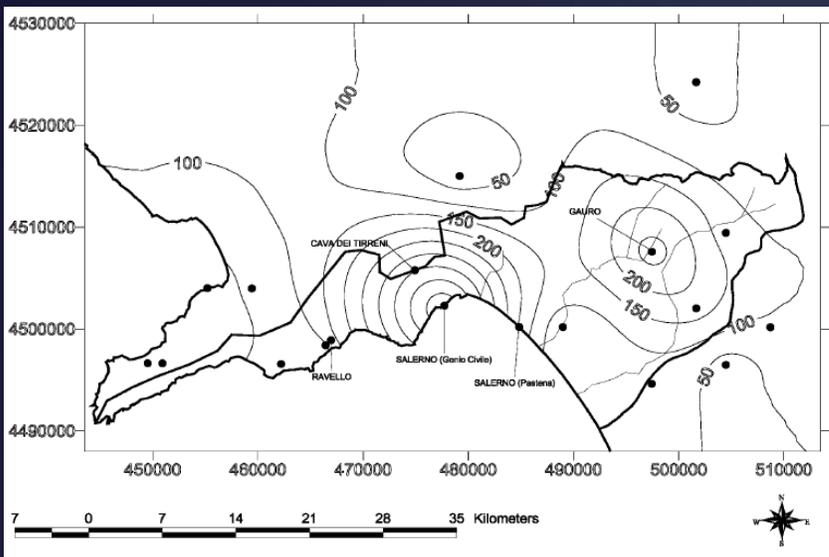
Il rischio idraulico viene quantificato secondo i quattro livelli riportati nella successiva tabella.

# Rischio Idrogeologico

Rischio idraulico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R <sub>1</sub>	Moderata	≤ 0.002	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R <sub>2</sub>	Media	≤ 0.005	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R <sub>3</sub>	Elevata	≤ 0.01	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R <sub>4</sub>	Molto elevata	≤ 0.02	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche

L'area di intervento compresa tra i bacini dei torrenti Bonea e Fusandola rientra, secondo il PAI, in una zona di "medio rischio" idrogeologico. È da sottolineare che nel 1954 suddetto bacino fu interessato da una forte alluvione che travolse e uccise moltissimi cittadini. Il rischio maggiore, correlato all'accadimento di eventi alluvionali di elevata intensità, è rappresentato dalla possibilità che gli accessi dal reticolo stradale al parcheggio possano essere invasi da portate liquide e solide ingenti.

## Effetti di sovralluvionamento rilevati nell'abitato



Carta delle isoiete relative all'evento pluviometrico del 25 e 26 ottobre 1954



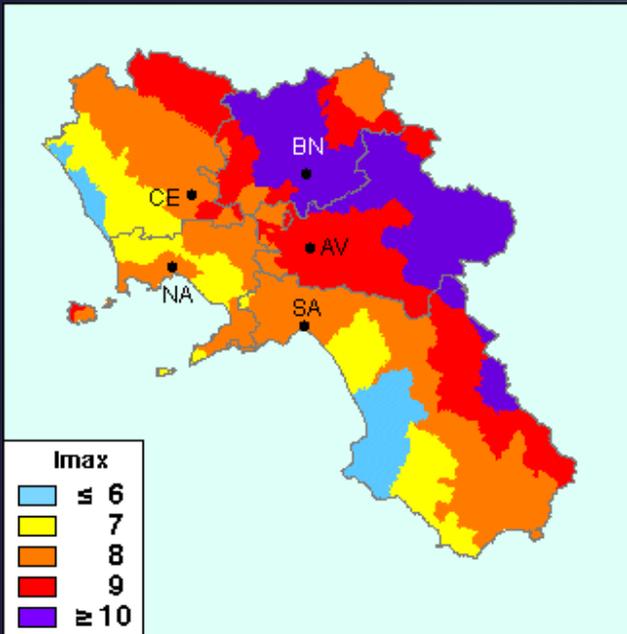
Da tanto, si evince che anche l'opera in progetto potrebbe essere interessata, in futuro, da analoghi fenomeni. A maggior ragione se si considera la sua posizione interrata (ostruzione degli accessi)



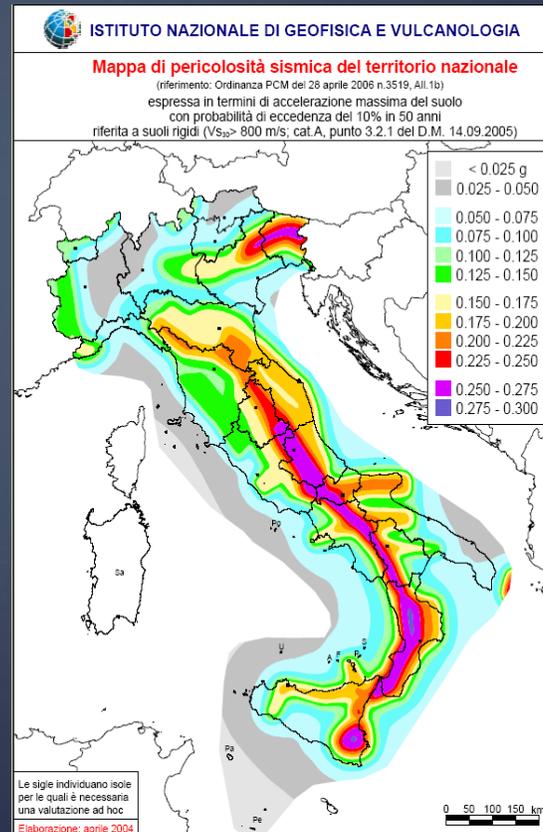
# Rischio Sismico

Il **Comune di Salerno** rientra nella seconda categoria sismica, caratterizzata da “**media sismicità**”.

Ai fini della definizione della pericolosità sismica, si è fatto riferimento alla massima **Intensità macrosismica ( $I_{max}$ )** che può essere risentita nel territorio in esame, assumendo a riferimento i dati riportati nella **Mappa delle Massime Intensità Macrosismiche**.



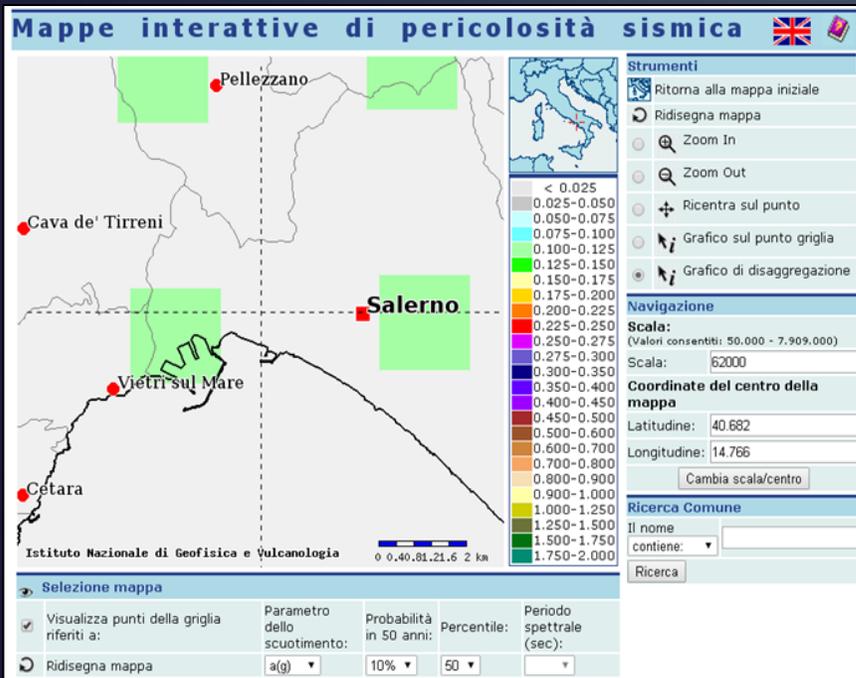
Massime intensità macrosismiche osservate o ponderate per le Province ed i Comuni della regione Campania (da Molin, Stucchi & Valensise, 1996).



Mappa di Pericolosità sismica del territorio nazionale (da <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)

# Rischio Sismico

È stata effettuata l'**analisi della disaggregazione** riportante, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di Magnitudo e Distanza dell'epicentro dal sito studiato. Per il sito considerato risulta che **la coppia magnitudo/distanza** che maggiormente contribuisce alla pericolosità, definita come probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, è **6.5 ÷ 7.0 e 40 ÷ 60 km per la distanza**.



Mappa interattiva di pericolosità sismica per il territorio studiato. I punti della griglia sono riferiti al parametro accelerazione a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (da <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Questa coppia di valori serve per identificare il **“terremoto di progetto”** utile per la corretta progettazione in prospettiva sismica del parcheggio.

# Conclusioni

- ▶ Le indagini geognostiche, sebbene non particolarmente dettagliate ed appropriate, hanno comunque consentito di **caratterizzare le rocce di fondazione** mediante l'utilizzo del criterio di rottura di **Hoek & Brown** e di **ricavare**, seppure in maniera approssimata, una **serie di parametri** che possono essere di notevole ausilio in fase di progetto esecutivo, cantierabile. È chiaro che nel caso specifico è necessaria una particolare attenzione alle condizioni al contorno preliminari e al dimensionamento e messa in sicurezza degli scavi, nonché della realizzazione delle paratie di pali.
- ▶ Per quanto concerne il **rischio alluvioni**, è stato possibile **accertare che l'area è esposta ad un elevato pericolo derivante dall'eccezionale trasporto solido che può originarsi a seguito di eventi pluviometrici intensi e particolarmente concentrati**.
- ▶ Infine, la **macrozonazione e microzonazione** sismica ha **consentito di stimare l'entità del terremoto di progetto di cui occorre tener conto nella progettazione dell'opera**.



**Grazie per la  
cortese  
attenzione!**