



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA  
DELLA TERRA SOLIDA

Atti del  
**32°** Convegno Nazionale

Trieste, 19–21 novembre 2013  
Palazzo dei Congressi  
della Stazione Marittima

**Tema 2: Caratterizzazione sismica  
del territorio**



ISTITUTO NAZIONALE DI  
OCEANOGRAFIA E DI  
GEOFISICA SPERIMENTALE



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA



**32<sup>o</sup>** convegno  
nazionale

**Trieste**  
19-21 novembre 2013  
Stazione Marittima

ATTI

Tema 2: Caratterizzazione sismica del territorio



ISTITUTO NAZIONALE DI  
OCEANOGRAFIA E DI  
GEOFISICA SPERIMENTALE

## 32° Convegno Nazionale

### Atti - Tema 2: Caratterizzazione sismica del territorio

---

#### Comitato organizzatore

D. Slejko  
D. Albarello  
A. Argnani  
E. Del Pezzo  
M. Dolce  
M. Fedi  
P. Galli  
S. Grimaz  
E. Loinger  
L. Martelli  
A. Masi  
G. Naso  
R. Petrini  
L. Sambuelli  
G. Santarato  
E. Serpelloni  
S. Solarino  
U. Tinivella  
A. Vesnaver

A cura di: D. Slejko, A. Rebez,  
A. Riggio, D. Albarello, M. Dolce,  
S. Grimaz, L. Martelli, A. Masi,  
G. Naso

Con la collaborazione di:  
M. Bobbio, P. Giurco e L. Riosa

Copertina: M. Sedmach

Impaginazione e stampa:  
Mosetti Tecniche Grafiche, Trieste

Finito di stampare nel mese di novembre 2013

ISBN 978-88-902101-9-8 collezione completa  
ISBN 978-88-902101-7-4 questo volume

*Alla fine del film “Intrigo a Stoccolma” di Mark Robson, l’organizzatore del premio Nobel dice qualcosa come: “Mi preoccupo ogni anno per l’organizzazione del premio e poi tutto fila sempre liscio” nel frattempo, a sua insaputa, era successo tutto quello che ci si può aspettare in un film d’azione. Così per me è per il GNGTS, anche se è il sedicesimo anno che lo organizzo e nel passato “tutto è filato liscio”, temo sempre in avvio che il convegno possa riuscire male, con pochi partecipanti e di scarso interesse. E quest’anno ce ne sarebbe ben stato motivo, visti i finanziamenti sempre scarsi per la ricerca e la concomitanza con altre manifestazioni geofisiche di respiro nazionale tenutesi recentemente.*

*Invece, anche quest’anno sembrerebbe (condizionale d’obbligo) che la partecipazione sarà nutrita, visto l’alto numero di note ricevute per la presentazione. Sarà merito della città di Trieste, che ospiterà quest’anno la manifestazione, che richiama numerosi partecipanti o saranno gli enigmi, che ogni terremoto propone, che invogliano i ricercatori al confronto, fatto sta che per tre giorni si parlerà di Geofisica e, anche se novità eclatanti non usciranno, conto che tanti ricercatori saranno un po’ più ricchi di conoscenza.*

*Le prospettive, come dicevo, sembrano positive anche stavolta, con un numero di pre-iscritti che un mese prima del convegno ha già superato le 250 unità. Volente o nolente devo pensare al futuro e perciò a lasciare presto in altre mani l’organizzazione di questo convegno: chiudere in bellezza potrebbe essere una saggia soluzione.*

*La strutturazione del convegno su 3 temi, proposta negli ultimi anni, è stata mantenuta: ci sembra rispecchi le principali discipline geofisiche e risulta di semplice organizzazione. Le presentazioni sono state suddivise nei tre temi generali: Geodinamica, Caratterizzazione sismica del territorio e Geofisica Applicata, che sintetizzano i grandi filoni lungo i quali si articola la ricerca geofisica italiana. Ogni tema, poi, si sviluppa in tre sessioni specifiche con apertura sia alla componente geologica che a quella ingegneristica.*

*Anche quest’anno è stata fatta la scelta di raccogliere note estese (ma non troppo) a formare gli atti del convegno. Questa scelta, che in parte rinnega quanto si è scritto nel passato a favore dei riassunti estesi, è stata dettata dalla necessità di produrre un volume utilizzabile per la valutazione ufficiale dell’attività scientifica dei ricercatori e degli enti. Poteva essere una scelta azzardata con scarsa partecipazione, viste le recenti valutazioni ANVUR, che avrebbero potuto indirizzare soprattutto i giovani ricercatori a pubblicare su riviste con alto*

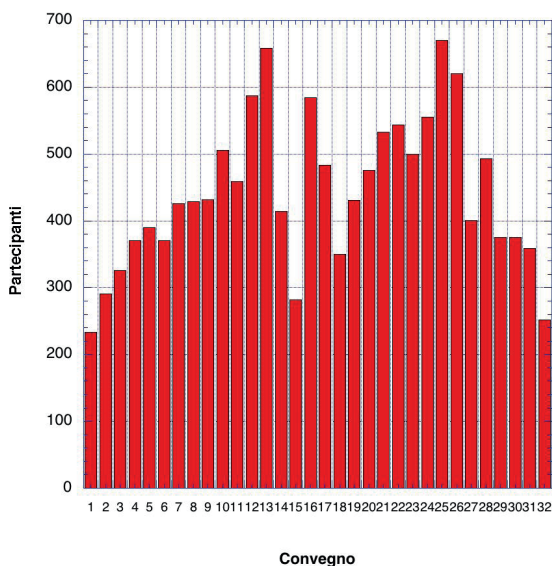


Fig. 1 – Numero di partecipanti ai convegni GNGTS. Il primo convegno si è tenuto nel 1981 e, in seguito, ha avuto cadenza annuale con l’eccezione del 1982. Il numero dei partecipanti all’ultimo convegno è aggiornato ad un mese prima dell’inizio del convegno stesso.

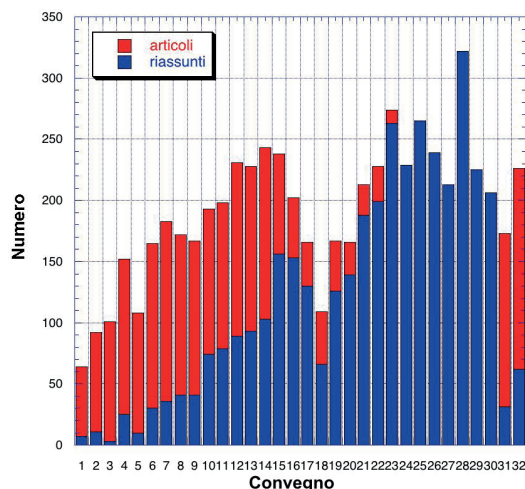


Fig. 2 – Numero di note presentate nei convegni NGGTS. Fino al 2004 è stato pubblicato il volume (dal 1997 sotto forma di CD-Rom) degli atti del convegno contenente in forma estesa le note presentate (barre rosse). In seguito, si è deciso di pubblicare soltanto il volume dei riassunti estesi (barre blu).

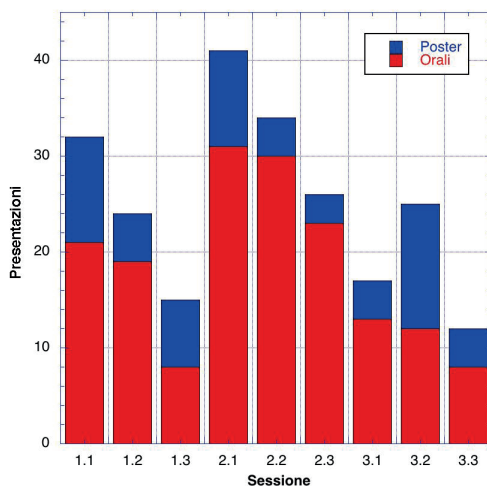


Fig. 3 – Numero di note presentate nelle varie sessioni del 32° convegno. Vengono indicate le comunicazioni orali con il colore rosso e quelle in forma di poster con il colore blu.

*Impact Factor: bollino blu dell'eccellenza e panacea per la valutazione o solo parziale criterio speditivo di confronto senza garanzia di qualità? Invece il presente volume raccoglie ben 164 note, delle 226 che verranno presentate al convegno. Si tratta di una percentuale (73%) abbastanza alta che premia la scelta fatta. La produzione di atti di rilevanza scientifica ha determinato la necessità di avviare un processo di referaggio di tutti i testi. I convenor se ne sono fatti carico e, pertanto, risultano responsabili della qualità del materiale presentato. L'aumentata mole di materiale da stampare, rispetto a quella degli anni precedenti in cui venivano prodotti dei riassunti estesi, ha condizionato la scelta di suddividere gli atti in tre volumi, ciascuno dei quali raccoglie le note relative ad uno dei tre temi. Molte note (108) sono in lingua inglese: ciò permette una diffusione del presente volume anche all'estero. Delle 226 note in programma, ben 165 sono destinate alla presentazione orale.*

*Anche quest'anno alcune sessioni del convegno NGGTS (quelle di Geofisica Applicata) sono state organizzate in collaborazione con la Sezione Italiana EAGE-SEG, che realizza così il suo 13° Convegno Nazionale.*

*Una segnalazione degna di nota va all'Associazione Geofisica Licio Cernobori, che ha scelto anche quest'anno il convegno NGGTS quale sede per l'attribuzione del premio in memoria di un caro collega ed amico prematuramente scomparso anni or sono.*

*Un ringraziamento particolare va ai convenor (Dario Albarello, Andrea Argnani, Edoardo Del Pezzo, Mauro Dolce, Maurizio Fedi, Paolo Galli, Stefano Grimaz, Eugenio Loinger, Luca Martelli, Angelo Masi, Giuseppe Naso, Riccardo Petrini, Luigi Sambuelli, Giovanni Santarato, Enrico Serpelloni, Stefano Solarino, Umberta Tinivella e Aldo Vesnaver), che hanno proposto e organizzato le varie sessioni e hanno curato il referaggio dei testi, ed alla Segreteria Organizzativa (Muzio Bobbio, Paolo Giurco e Laura Riosa, oltre ad Alessandro Rebez e Anna Riggio, che firmano con me e con i convenor questi atti), che ha raccolto e preparato tutto il materiale qui stampato. Desidero ringraziare, infine e soprattutto, il Presidente dell'OGS, che ha accolto ancora una volta con entusiasmo e con generosità l'idea di finanziare il convegno NGGTS, nonostante le difficoltà economiche con cui tutti gli enti di ricerca devono scontrarsi.*

Dario Slejko



*"...cerco qualcosa: un briciolo di conoscenza in questo nostro piccolo grande pianeta. E in me stesso..." L. C. 1989.*

## PREMIO DELL'ASSOCIAZIONE PER LA GEOFISICA "LICIO CERNOBORI" - 2013

L'Associazione per la Geofisica Licio Cernobori – AGLC, nata il 30 ottobre del 2000 per ricordare Licio Cernobori, geofisico prematuramente scomparso, ed il suo entusiasmo contagioso, ha come fine la promozione degli studi geofisici e soprattutto la formazione scientifica e la crescita dei più giovani.

Tale fine è stato perseguito attraverso l'elargizione di un premio di studio presso l'Università di Trieste, aperto anche a laureandi/laureati in Geofisica Applicata di altre università o strutture scientifiche coinvolte in progetti comuni con l'Ateneo di Trieste. Si ricordano i vincitori degli anni passati Giulio Paoli (2001), Sara Cisilin (2002), Marica Calabrese (2003), Manfredi Scozzi (2004), Ivan Gladich (2006), Manuela Zuliani (2006), Andreika Starec (2008), Sara Ferrante (2009).

Oltre all'attività didattica/divulgativa che i componenti dell'Associazione svolgono in diverse occasioni, sono stati finanziati negli anni diversi convegni, scuole, progetti, iniziative, in Italia e all'estero:

- Copie degli Atti del Convegno TRANSALP (Trieste, Febbraio 2003) per le biblioteche universitarie;
- Agevolazioni per gli studenti al Congresso: STRUCTURES IN THE CONTINENTAL CRUST AND GEOTHERMAL RESOURCES (Siena, 24-27 September 2003);
- Sovvenzione di uno studente, Alberto Gaudio dell'università di Urbino per la Scuola di Processing dati sismici marini (Trieste, ottobre 2004);
- Agevolazioni per studenti del terzo mondo alla partecipazione del Workshop IRIS-Orfeus "Understanding and managing information from seismological networks" (Palmanova (UD) 28 Febbraio – 6 marzo 2005);
- Finanziamento di € 400 Euro ad Andrejka Starec (2006), allora studentessa, per garantirle un altro mese presso il TNO (Paesi Bassi) a conclusione della sua borsa e consentirle la conclusione della tesi sullo stoccaggio geologico della CO<sub>2</sub>, con la guida di Pascal Winthaegen e del chiar.mo Prof. Rinaldo Nicolich dell'Università di Trieste.
- Finanziamento annuale di € 400 per la partecipazione di un insegnante ai seminari GIFT per gli insegnanti delle scuole elementari e secondarie nell'ambito del convegno dell'European Geosciences Union - Geophysical Information for Teachers (GIFT): Giovanni Banchelli (2007), Pier Paolo Caputo (2008), Giovanni Agliandolo (2009), Francesco Gobbo (2010), Giulia Realdon (2011), Eva Godini (2012), Maria Barbera (2013).

Nell'occasione del decennale (2010) si è istituito un premio per i giovani relatori al Congresso annuale NGGTS, ripetuto nel 2011. Nel 2010 il premio di 2000,00 € è andato alla dottoressa **Marina Pastori**, per il lavoro "*Crustal fracturing field and presence of fluid as revealed by seismic anisotropy: case-histories from seismogenic areas in the Apennines*", selezionato tra 40 lavori e 8 finalisti, nel 2011 al **dott. Edoardo Peronace**, per il lavoro "*Shallow geophysical imaging of the mt. Marzano fault zone; a kaleidoscopic view through ERT, GPR and HVSR analyses*", selezionato tra 38 lavori e 13 finalisti.

Dal 2012 il premio è stato suddiviso in tre premi di 700,00 €, uno per ciascuno dei Temi del convegno: *Geodinamica, Caratterizzazione sismica del territorio e Geofisica applicata*. I vincitori sono stati:

**Lorenzo Bonini**, per il lavoro: "*Comprendere la gerarchia delle faglie attive per migliorare la caratterizzazione sismica del territorio: l'esempio del terremoto di L'Aquila del 2009 (Mw 6.3)*", **Rocco Ditommaso**, per il lavoro "*Risposta sismica delle strutture: dalla non stazionarietà alla non linearità apparente*", **Gianluca Fiandaca**, per il lavoro "*Time domain induced polarization: 2D inversion for spectral information*", selezionati tra 31 lavori presentati.

Quest'anno i lavori presentati sono 27. I riassunti e le presentazioni preliminari sono attualmente all'esame delle tre commissioni, che stanno lavorando per scegliere i tre vincitori, che verranno annunciati e premiati nel corso dell'Assemblea del Convegno (20 novembre 2013).

Per altre informazioni, per diventare socio e contribuire a continuare e migliorare le iniziative dell'Associazione per la Geofisica Licio Cernobori – AGLC, <http://www2.units.it/cernobor/>.

*Il Presidente dell'Associazione*  
Marco Romanelli



# Indice

<b>Lectio Magistralis</b> .....	XI
THE CRUST IN ITALY FROM SEISMIC PROSPECTING AND ADDITIONAL INVESTIGATING TECHNIQUES R. Nicolich .....	XIII
<b>Tema 2 - Caratterizzazione sismica del territorio</b> .....	1
<b>sessione 2.1 -Pericolosità sismica, vulnerabilità, scenari di scuotimento e di danno</b> .....	3
EARTHQUAKE FORECASTING MODELS AND THEIR IMPACT ON THE GROUND MOTION HAZARD IN THE MARMARA REGION, TURKEY A. Akinci, M. Murru, R. Console, G. Falcone, S. Pucci .....	5
SCORING PROCEDURES FOR PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT (PSHA): A PRELIMINARY APPLICATION IN THE FRAME OF THE DPC-INGV-S2 PROJECT (2012-2013) D. Albarello, V. D'Amico, L. Peruzza .....	9
SOIL HAZARD ASSESSMENT IN ITALY: SITE-SPECIFIC AND REGIONAL-SCALE ESTIMATES WITHIN THE FRAMEWORK OF THE DPC-INGV S2 2012-2013 PROJECT S. Barani, M. Vanini, E. Faccioli, R. Paolucci, C. Smerzini, M. Villani, G. di Capua, G. Tarabusi, C. Barnaba, D. Spallarossa, A. Rebez, L. Martelli, A. Piccin, S. Rosselli, L. Peruzza .....	15
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL SEISMIC CHARACTERIZATION OF 'BLOCKHAUS' SHEAR WALLS UNDER IN-PLANE LATERAL LOADS C. Bedon, M. Fragiaco, C. Amadio, C. Sadoch .....	22
GPS HORIZONTAL KINEMATICS PATTERN IN THE ITALIAN PENINSULA N. Cenni, E. Mantovani, P. Baldi, M. Viti, D. Babbucci, M. Bacchetti, A. Vannucchi .....	29
LOCAL VS. DURATION MAGNITUDE RELATIONSHIP FOR THE MT. ETNA SEISMIC CATALOGUE S. D'Amico, E. Giampiccolo, T. Tuvè .....	34
SYNTHESIS 0.1: BETA RELEASE OF A SYNTHETIC WAVEFORMS REPOSITORY M. D'Amico, F. Pacor, R. Puglia, L. Luzi, G. Ameri, F. Gallovi, A. Spinelli, M. Rota Stabelli .....	38
MAPPE PROBABILISTICHE TIME-DEPENDENT DI PERICOLOSITÀ SISMICA ALL'ETNA: PRIMI RISULTATI S. D'Amico, R. Azzaro, H. Langer, L. Peruzza, G. Tusa, T. Tuvè .....	45
SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT AT URBAN SCALE BASED ON FIELD SURVEY, REMOTE SENSING AND CENSUS DATA C. Del Gaudio, P. Ricci, G.M. Verderame, G. Manfredi .....	50
MULTIPLE PARAMETER MONITORING AND SEISMIC PRECURSORY PHENOMENOLOGY IN UNUSUAL ANIMAL BEHAVIOUR IN WESTERN PIEDMONT G. de Liso, C. Fidani, A. Viotto .....	60
ELECTROMAGNETIC PERTURBATIONS ASSOCIATED WITH M = 5, JULY 21, 2013, ANCONA, ITALY EARTHQUAKE OBSERVED BY CIEN P. M. Siciliani, C. Fidani, F. Stoppa, G. Iezzi, M. Arcaleni, S. Tardioli, D. Marcelli .....	66
ANIMAL BEHAVIOUR AND THE ECONOMY BEFORE EARTHQUAKES C. Fidani .....	71
PERICOLOSITÀ SISMICA E GENERAZIONE DI ACCELEROGRAMMI PER VERIFICHE SISMICHE SULLE DIGHE G. Fiorentino, L. Furgani, C. Nuti, F. Sabetta .....	75
LE CALAMITÀ NATURALI ED IL MERCATO ASSICURATIVO ITALIANO: SOLUZIONI DISPONIBILI, ANALISI COMPARATIVE E PRIME DEDUZIONI F.T. Gizzi, M.R. Potenza, C. Zotta .....	80
MORPHOSTRUCTURAL ZONATION AND PATTERN RECOGNITION OF EARTHQUAKE PRONE AREAS IN THE PO PLAIN A. Gorshkov, A. Peresan, A. Soloviev, G.F. Panza .....	87
WHERE THE NEXT MAJOR EARTHQUAKE IN THE ITALIAN PENINSULA? E. Mantovani, M. Viti, N. Cenni, D. Babbucci, C. Tamburelli, A. Vannucchi .....	94

FUNDAMENTAL PERIOD OF BUILDINGS, SEISMIC SITE RESPONSE AND IMPLICATIONS ON EARTHQUAKE SEISMIC ACTION DEFINITION IN THE SIRACUSA AREA, ITALY F. Panzera, S. D'Amico, G. Lombardo, E. Longo .....	103
SEISMIC MEASUREMENTS TO REVEAL SHORT-TERM VARIATIONS IN THE ELASTIC PROPERTIES OF THE EARTH CRUST D. Piccinini, L. Zaccarelli, M. Pastori, L. Margheriti, F.P. Lucente, P. De Gori, L. Faenza, G. Soldati .....	110
LA RETE GEOCHIMICA TOSCANA PER LO STUDIO DEI PRECURSORI IDROGEOCHIMICI DELL'ATTIVITÀ SISMICA L. Pierotti, G. Facca, F. Gherardi .....	115
SEISMIC AMPLIFICATION MAP FOR SOME AREAS IN THE NORTHERN ITALY A. Rebez, G. Di Capua, M. Santulin, A. Tamaro .....	119
RADON AS SEISMIC PRECURSOR IN THE FRAMEWORK OF THE S3 PROJECT A. Riggio, M. Santulin, A. Tamaro .....	123
EFFECTIVENESS OF THE N2 METHOD FOR THE SEISMIC ANALYSIS OF STRUCTURES WITH DIFFERENT HYSTERETIC BEHAVIOUR G. Rinaldin, C. Amadio, M. Fragiaco .....	131
SCENARI DI DANNO EMPIRICI E ANALITICI A CONFRONTO CON RECENTI TERREMOTI ITALIANI F. Sabetta, E. Speranza, B. Borzi, M. Faravelli .....	136
EFFECTS OF THE RUPTURE DIRECTIVITY ON THE PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD MAPS IN THE SOUTHERN APENNINES, ITALY E. Spagnuolo, A. Akinci, A. Herrero .....	142
APPLYING ROBUST SATELLITE TECHNIQUES (RST) TO TIR ANOMALIES MONITORING IN TWO EARTHQUAKES PRONE AREAS OF ITALY: RESULTS OF A ONE YEAR MONITORING EXERCISE PERFORMED IN THE FRAMEWORK OF THE INGV-DPC PROJECT S3 V. Tramutoli, N. Genzano, M. Lisi, G. Sileo, R. Paciello, N. Pergola .....	146
GROUND-MOTION PREDICTIVE EQUATIONS FOR LOW-MAGNITUDE EARTHQUAKES IN THE CATANIA PROVINCE: THE CASE OF VOLCANIC AREA OF MOUNT ETNA G. Tusa, H. Langer .....	153
A SIMPLE EARTHQUAKE SIMULATOR TO EXPLORE THE COEFFICIENT OF VARIATION OF THE RECURRENCE TIME F. Visini, B. Pace .....	158
<b>sessione 2.2 - Effetti di sito .....</b>	<b>165</b>
PRELIMINARY HVSR ANALYSIS IN THE HISTORICAL CENTRE OF FERRARA, NORTH ITALY N. Abu Zeid, F. Albertin, S. Bignardi, G. Santarato .....	167
PRELIMINARY RESULTS OF SEISMIC RESPONSE ANALYSES AT "SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO" BASILICA (L'AQUILA, ITALY) S. Amoroso, I. Gaudiosi, G. Milana, M. Tallini .....	172
SITE EFFECTS IN THE EASTERN PO PLAIN BY MEAN OF WEAK AND STRONG EARTHQUAKES C. Barnaba, G. Laurenzano, L. Moratto, A. Vuan, M. Romanelli, D. Pesaresi, M. Plasencia Linares, E. Priolo .....	179
MICROZONAZIONE SISMICA DI UMBERTIDE: MODELLO GEOLOGICO-GEOFISICO E POSSIBILE UTILIZZO DEI RISULTATI FINALI IN AMBITO DI PIANIFICAZIONE E PROGETTAZIONE A. Boscherini, M. Barluzzi, A. Motti, N. Natali, G. Simone, F. Pergalani .....	185
ICMS 2008: PROPOSTA DI DISCIPLINA D'USO DEL SUOLO IN ZONE DI INSTABILITÀ F. Brammerini, G. Di Salvo, M. Giuffrè, Gruppo di lavoro_FAC, Gruppo di lavoro_LQ .....	191
LA CARTA GEOLOGICO TECNICA PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA S. Castenetto, G. Naso, M. Coltella, P. Imprescia, M. Moscatelli, A. Pagliaroli, E. Peronace, V. Scionti .....	195
LA MICROZONAZIONE SISMICA DI PRIMO LIVELLO IN AREE VULCANICHE: L'ESPERIENZA DELLE AREE ETNEE S. Catalano, G. Romagnoli, G. Tortorici, F. Pavano, G. Sturiale, A. Torrissi, C. Bennici, S. Rosa .....	202
EFFETTI DI SITO INDOTTI DA VALLI SEPOLTE NELLE AREE PERIFERICHE DEL MONTE ETNA: IL CASO DEL TERREMOTO DI SANTA VENERINA S. Catalano, S. Imposa, G. Tortorici, A. Torrissi, G. Romagnoli, S. Grassi .....	209
STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 DELLA CITTÀ DI RIETI A. Colombi, G. Scarascia Mugnozza, G. Martini, A. Paciello, S. Martino, L. Salvatori, S. Hailmikael, V. Verrubbi, A. Peloso, A. Porchia .....	215
MICROZONAZIONE SISMICA DI UMBERTIDE: ANALISI NUMERICA M. Compagnoni, F. Pergalani .....	220

ANALYSIS OF AMBIENT NOISE INSTANTANEOUS POLARISATION FOR SITE RESPONSE CHARACTERISATION V. Del Gaudio .....	226
INTEGRATION OF STRATIGRAPHIC DATA WITH HVSR MEASURES FOR STUDIES OF SEISMIC MICROZONATION: THE CASE OF OLIVERI (ME) P. Di Stefano, D. Luzio, P. Renda, R. Martorana, P. Capizzi, A. D'Alessandro, N. Messina, G. Napoli, M. Perricone, S. Todaro, G. Zarcone .....	235
IL PERCORSO METODOLOGICO PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA P. Imprescia, M. Coltella, G. Naso .....	241
STUDIO SISMOLOGICO PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA DI SITO AI FINI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI ALCUNI COMUNI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA G. Laurenzano, E. Priolo, C. Barnaba, M.R. Gallipoli, P. Klin, L. Martelli, M. Mucciarelli, M. Romanelli .....	247
DOVE L'H/V NON ERA MAI GIUNTO PRIMA: IL CASO DI MASSA E. Lunedei, E. Paolucci, I. Milani, S. Pagliaccia, D. Albarello, P.L. Fantozzi, P. Pieruccini .....	253
CARTOGRAFIA SPEDITIVA DELL'AMPLIFICAZIONE E DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE NELLE AREE EPICENTRALI DEL TERREMOTO DELL'EMILIA 2012 ( $M_1=5.9$ ) L. Martelli, L. Calabrese, G. Ercolessi, P. Severi, G. Tarabusi, D. Pileggi, S. Rosselli, L. Minarelli, F. Pergalani, M. Compagnoni, G. Vannucchi, C. Madaia, J. Facciorusso, V. Fioravante, D. Giretti, M. Mucciarelli, E. Priolo, G. Laurenzano, M. Romani, A. Manicardi, B. Mengoli, C. Ugoletti .....	262
UN METODO SPERIMENTALE PER LA VALUTAZIONE DELL'OPERATIVITÀ DI UN EDIFICIO STRATEGICO CHE TENGA CONTO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE D. Spina, F. Mori, A. Pagliaroli .....	267
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 DEL CENTRO STORICO DI ROMA M. Moscatelli, A. Pagliaroli, M. Mancini, F. Stigliano, A. Colombi .....	274
MISURE DI SISMICA PASSIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DELL'ARGINE DESTRO DEL FIUME PO E. Paolucci, D. Pileggi, D. Albarello, F. Guerrini, L. Martelli .....	284
FAGLIE ATTIVE E CAPACI NEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA: DEFINIZIONI E PROCEDURE DI ZONAZIONE E. Peronace, P. Boncio, P. Galli, G. Naso .....	293
LA MICROZONAZIONE SISMICA DI UN SITO UNESCO: IL CENTRO STORICO DI SAN GIMIGNANO (SIENA) G. Peruzzi, E. Lunedei, D. Albarello, P. Pieruccini, D. Firuzabadi, F. Sandrelli, M. Coltorti, P.L. Fantozzi .....	299
MICROZONAZIONE SISMICA DI UMBERTIDE: ANALISI SPERIMENTALE E. Priolo, R. de Franco, C. Barnaba, G. Boniolo, G. Caielli, A. Corsi, G. Laurenzano, A. Morrone, A. Motti, P. Ragazzo, M. Romanelli, A. Tento .....	306
ON THE PERFORMANCES OF SITE PARAMETERS FOR SOIL CLASSIFICATION R. Puglia, D. Albarello, L. Luzi, D. Bindi, R. Gallipoli, M. Mucciarelli, G. Naso, F. Pacor, E. Peronace .....	312
DEFINIZIONE DI UN INDICE DI AFFIDABILITÀ DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA BASATO SULLE INDAGINI EFFETTUATE B. Quadrio, M. Ambrosanio, M. Ioannilli, F. Brammerini, S. Castenetto, G. Naso .....	317
MICROZONING STRATEGY IN NEAR FIELD AREAS: SOME EVIDENCES AND OPEN PROBLEMS M.L. Rainone, P. Signanini, G. Vessia .....	325
GEOTECHNICAL MODEL FOR SANTIAGO DE CUBA CITY Z.C. Rivera, J. García, D. Slejko, A. Medina .....	330
PROPOSTE DI INTEGRAZIONE DEGLI ICMS (2008): LE INSTABILITÀ COSISMICHE NEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA V. Scionti, Gruppo di lavoro_FAC, Gruppo di lavoro_LQ .....	334
<b>sessione 2.3 - Strumenti per la riduzione del rischio</b> .....	341
INGVTERREMOTI: THE COMMUNICATION IS A RISK, THE SILENCE IS A FAULT A. Amato, L. Arcoraci, E. Casarotti, V. Lauciani, C. Meletti, C. Nostro, A. Piersanti, M. Pignone, L. Postpischl .....	343
ANALISI NUMERICHE NON LINEARI PER LA CALIBRAZIONE DI UNA METODOLOGIA SPEDITIVA PER LA LOCALIZZAZIONE E LA VALUTAZIONE DEL DANNO SU STRUTTURE INTELAIATE IN CEMENTO ARMATO G. Auletta, R. Ditommaso, F. C. Ponso, C. Iacovino .....	349
VARIANTE AL PTPC DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA IN MATERIA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO D. Bartoli .....	355

ATTIVITÀ DI PREVENZIONE SISMICA NELLA REGIONE LAZIO	
A. Colombi	362
LA MICROZONAZIONE SISMICA QUALE STRUMENTO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO A SUPPORTO DELLA PIANIFICAZIONE	
R. Cultrone	367
I TERREMOTI DELL'IRPINIA E DEL POLLINO: MEMORIA STORICA, COMUNICAZIONE E PERCEZIONE ATTUALE TRA GEOETICA E GEOGRAFIA	
F. De Pascale, M. Bernardo, F. Muto	375
INDICI DI OPERATIVITÀ PER LA VALUTAZIONE DELLA CONDIZIONE LIMITE DI EMERGENZA (CLE)	
M. Dolce, E. Speranza, G. Di Pasquale, F. Giordano, F. Bocchi	382
THE FEBRUARY 16 <sup>th</sup> EARTHQUAKE SEQUENCE IN CENTRAL ITALY, A TOOL FOR IMPROVING MICROZONATION RESULTS IN THE MUNICIPALITY OF ARPINO	
D. Famiani, M. Manuel, G. Milana	389
ATTIVITÀ DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO IN GARFAGNANA E LUNIGIANA: ALCUNI RISULTATI DOPO L'EVENTO DEL 21 GIUGNO 2013	
M. Ferrini	396
RIDUZIONE DEL RISCHIO: ESITI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA NELLE CARTE E NORME DEGLI STRUMENTI URBANISTICI	
A. Fraulini, A. Manicardi, B. Mengoli, C. Ugoletti, G.P. Mazzetti	402
STUDIO DELLA RISPOSTA DI SITO IN UN AREA DEL VERSANTE MERIDIONALE DEL MT. ETNA	
S. Imposa, F. Fazio, S. Grassi, G. Rannisi	409
GESTIONE DEL RISCHIO SISMICO SECONDO UN FRAMEWORK DI ENTERPRISE RISK MANAGEMENT	
P. Luraschi	416
AN ALTERNATIVE APPROACH FOR THE ESTIMATE OF SEISMIC HAZARD: APPLICATIONS TO ITALIAN REGIONS AND COMPARISON WITH THE PRESENT HAZARD MAPS	
E. Mantovani, D. Babbucci, M. Baglione, N. Cenni, V. D'Intinosante, L. Martelli, C. Tamburelli, M. Viti	422
MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA EPICENTRALE DEL TERREMOTO DELLA PIANURA EMILIANA DEL 2012 (ORD. 70/2012)	
L. Martelli, L. Calabrese, G. Ercolessi, P. Severi, M. Romani, G. Tarabusi, D. Pileggi, S. Rosselli, L. Minarelli, F. Pergalani, M. Compagnoni, G. Vannucchi, C. Madiati, J. Facciorusso, V. Fioravante, D. Giretti, M. Mucciarelli, E. Priolo, G. Laurenzano, F. Brammerini, E. Speranza, C. Conte, G. Di Salvo, M. Giuffrè, M. Zuppiroli, F. Guidi, V. Vona, A. Manicardi, B. Mengoli, C. Ugoletti, L. Ricci	428
AZIONI SVOLTE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO NELL'AMBITO DEL PROGETTO PILOTA "OSSERVATORIO AMBIENTALE PERMANENTE DELLA BIODIVERSITÀ" DEL COMUNE DI COLLI A VOLTURNO (IS)	
G. Milano	434
VARIATION OF VIBRATION PERIOD OF A RC BUILDING DURING THE POLLINO SEISMIC SWARM	
M. Mucciarelli, T.A. Stabile, M.R. Gallipoli, P. Comelli, M. Bertoni	441
CHALLENGING RISK REDUCTION THROUGH EDUCATION AND PREPAREDNESS	
G.L. Piangiamore, G. Musacchio, M. Bocchia	446
LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO ATTRAVERSO LE BEST-PRACTICES DELLA RICOSTRUZIONE POST EVENTO: IL CASO DI RAGUSA IBLA	
R. Pirgu, C. Pagano Mariano	452
IL MONITORAGGIO SISMICO DELL'ATTIVITÀ DI STOCCAGGIO DI GAS METANO NEL SERBATOIO NATURALE DI COLLALTO (TV): LA RETE SISMICA DI COLLALTO	
E. Priolo, M. Romanelli, M. Plasencia Linares, M. Garbin, L. Peruzza, P. Bernardi, L. Moratto	457
RAPIDA DEFINIZIONE DEL QUADRO DI RISENTIMENTO SISMICO A LIVELLO TERRITORIALE MEDIANTE STRUMENTI INNOVATIVI BASATI SUL CONTRIBUTO ATTIVO DEL VOLONTARIATO. PRIMA SPERIMENTAZIONE NEL CORSO DELL'ESERCITAZIONE "SISMA NORDEST" DEL 14 SETTEMBRE 2013	
D. Sandron, P. Malisan, S. Grimaz, A. Rebez, F. Di Bernardo, A. Masi, M. Mucciarelli	466
SHORTCOMINGS OF THE CURRENT ASSESSMENT OF SEISMIC HAZARD: EXAMPLES FROM SOME ITALIAN REGIONS	
M. Viti, D. Babbucci, M. Baglione, N. Cenni, V. D'Intinosante, E. Mantovani, L. Martelli, C. Tamburelli	474
IN LINE HVSR MEASURE FOR MICROZONATION STUDY	
M. Compagnoni, M. Lualdi, F. Pergalani, G. Saccà	480
INDICE DEGLI AUTORI	487

**Acknowledgements.** This work was developed in the framework of the ReLUIIS-DPC 2010-2013 Research Project promoted by the Laboratories University Network of seismic engineering (ReLUIIS) and funded by the Italian Civil Protection Department - Presidency of the Council of Ministers (DPC). The authors wish to thank the staff of Seismic Monitoring Service of the Territory of the Seismic and Volcanic Risks Office of the Civil Protection Department, that that provided us waveforms and associated information used in this work.

## References

- Bindi, D., Pacor, F., Luzi, L., Puglia, R., Massa, M., Ameri, G., Paolucci R. (2011). Ground motion prediction equations derived from the Italian strong motion database. *Bulletin of Earthquake Engineering*. Volume: 9, Issue: 6, Special Issue: SI, Pages: 1899-1920, DOI: 10.1007/s10518-011-9313-z.
- Borcherdt, R.D. (1994). Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification). *Earth Spectr* 10:617-653.
- Borcherdt, R.D., Glassmoyer, G. (1992). On the characteristics of local geology and their influence on ground motions generated by the Loma Prieta earthquake in the San Francisco Bay region, California. *Bull Seismol Soc Am* 82(2):603-641.
- BSSC (1998). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for new Buildings and other Structures, FEMA302/303, Part 1 (Provisions) and Part2 (Commentary), developed for the Federal Emergency Management Agency, Washington, 1997 Edition.
- Cadet H, Bard PY, Duval AM(2008). A new proposal for site classification based on ambient vibration measurements and the Kiknet strong motion data set. In: *Proceeding of the 14th world conference on earthquake engineering*, Beijing, 12–17 Oct 2008.
- Castellaro, S., Mulargia, F., Rossi, P.L. (2008). Vs30: proxy for seismic amplification?. *Seismol Res Lett* 79(4):540-543. doi: 10.1785/gssrl.79.4.540.
- Castello, B., Olivieri, M., Selvaggi, G. (2007). Local and duration magnitude determination for the Italian earthquake catalog, 1981-2002. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Volume: 97, Issue: 1, Special Issue: S, Pages: 128-139, DOI: 10.1785/0120050258.
- Davis J. C. (1986). *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons. ISBN: 0-471-08079-9.
- ENV (1998). EUROCODE 8, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures. Seismic Actions and General Requirements of Structures, CEN/TC 250, Draft, May 2002.
- Japan Road Association (1980). *Specifications for Highway Bridges Part V, Seismic Design*. Maruzen Co. Ltd.
- Japan Road Association (1990). *Specifications for Highway Bridges Part V, Seismic Design*. Maruzen Co. Ltd.
- Lee, V.W., Trifunac, M.D. (2010). Should average shear-wave velocity in the top 30m of soil be used to describe seismic amplification?. *Soil Dyn Earthq Eng* 30(11): 1540-1549.
- NTC (2008). *Norme Tecniche per le Costruzioni*, Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14/01/2008 (Gazzetta Ufficiale n. 29 04/02/2008), in Italian
- Park, D., Hashash, Y.M.A. (2004). Probabilistic seismic hazard analysis with non linear site effects in the Mississippi embayment. In *Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering*, Vancouver, Paper n. 1549 (on CD-Rom).
- Steidl, J.H. (2000). Site response in southern California for probabilistic seismic hazard analysis. *Bull Seismol Soc Am* 90(6B):S149–S169.
- Stewart, J.P., Liu, A.H., Choi, Y. (2003). Amplification factors for spectral acceleration in tectonically active regions. *Bull Seismol Soc Am* 93:332-352.

## DEFINIZIONE DI UN INDICE DI AFFIDABILITÀ DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA BASATO SULLE INDAGINI EFFETTUATE

**B. Quadrio<sup>1</sup>, M. Ambrosanio<sup>2</sup>, M. Ioannilli<sup>2</sup>, F. Brammerini<sup>3</sup>, S. Castenetto<sup>3</sup>, G. Naso<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>CNR-IGAG

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Università degli studi "Tor Vergata", Roma

<sup>3</sup>Dipartimento della Protezione Civile, Roma

A seguito all'emanazione della legge 77/2009 è stato avviato il programma di finanziamento per le Regioni al fine di realizzare studi di Microzonazione Sismica (MS) nei Comuni la cui PGA è maggiore o uguale a 0,125 g. Il riferimento metodologico adottato da tutte le Regioni è costituito dagli ICMS2008 e dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" (versione 2.0, maggio 2012), appositamente predisposti dalla Commissione tecnica di supporto e monitoraggio per gli studi di MS istituita con OPCM 3907/2010.

Già nell'ambito delle prime sperimentazioni effettuate a seguito del terremoto dell'Aquila del 6 aprile 2009 era emerso che l'applicazione degli ICMS2008 non forniva indicazioni per

valutare gli studi di MS dal punto di vista dei contenuti, specialmente per il livello 1, pur rilevando diversità anche sostanziali fra i prodotti realizzati dai singoli gruppi di lavoro. A tale esperienza seguì una prima ipotesi di procedura semi-quantitativa (Albarello *et al.*, 2011) estremamente semplificata, che non poteva ancora tener conto di basi dati standardizzate e sistemi di archiviazione omogenei, con alcuni sporadici seguiti applicativi.

Più recentemente, il Dipartimento della Protezione Civile e il CNR-IGAG, nell'ambito dell'attività di supporto della Commissione Tecnica, hanno avviato una revisione di quanto esistente a livello metodologico per la valutazione degli studi di MS. In seguito a questo è stato predisposto un nuovo metodo di analisi basato sul sistema di archiviazione dei dati adottato a livello nazionale come strumento per la verifica e l'ottimizzazione delle risorse, al fine di garantire livelli qualitativi omogenei per i tutti i territori indagati dagli studi di MS.

Questo documento descrive il modello di elaborazione, i dati necessari per la sua applicazione, a partire da quelli archiviati con gli Standard 2.0 e le modalità applicative. Il modello è finalizzato a valutare l'affidabilità delle indagini degli studi di MS (Indice di Affidabilità, IA) attraverso una serie di tematismi sviluppati in ambiente GIS per eventuali integrazioni o miglioramenti conoscitivi.

**Definizione dell'Indice di Affidabilità (IA).** Per realizzare una Carta di MS è necessario suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee, valutando per ciascuna zona, e sulla base di indagini specifiche, il comportamento delle stesse al sisma. Con queste assunzioni, per valutare l'affidabilità di una carta di MS è preliminarmente necessario valutare le indagini condotte sulle singole microzone in termini di tipologia e distribuzione. L'Indice di Affidabilità (IA) viene definito come un indice derivato dall'insieme degli Indici di Affidabilità delle indagini condotte nelle singole microzone ( $IA_x$ , con x numero identificativo della singola microzona). Ciascuno degli  $IA_x$  è a sua volta derivato dalla combinazione di due indici distinti:

- Indice di tipologia ( $It_x$ ), riferito alla tipologia delle indagini e delle elaborazioni presenti nella microzona
- Indice di distribuzione ( $Id_x$ ), riferito alla distribuzione delle indagini presenti nella microzona.

Per elaborare l'Indice di Affidabilità è dunque necessario:

- valutare preliminarmente l'indice di tipologia ( $It_x$ ) e l'Indice di distribuzione ( $Id_x$ ) delle indagini presenti in ciascuna microzona contenuta nella carta;
- valutare l'Indice di Affidabilità ( $IA_x$ ) per ciascuna microzona
- valutare l'Indice di Affidabilità (IA) per l'intera carta di MS.

Questa metodologia di valutazione è applicabile a tutti e tre livelli di approfondimento degli studi di MS. I singoli parametri ed i criteri che vengono adottati per effettuare le valutazioni sono specializzati in funzione del livello di approfondimento a cui ci si riferisce.

**Indice di tipologia ( $It_x$ ).** L'indice di tipologia  $It_x$  valuta l'affidabilità conoscitiva della singola microzona in funzione della tipologia delle indagini effettuate in quella medesima microzona. In uno studio di MS le diverse tipologie di indagini effettuabili (geologiche, geotecniche e geofisiche) presentano profili di significatività diversi in funzione della tipologia di microzona e del livello di approfondimento. Tra tutte, vengono considerate essenziali le indagini che forniscono parametri direttamente utili alla descrizione compiuta della pericolosità sismica locale della microzona e la loro presenza è considerata indispensabile per raggiungere un risultato almeno sufficiente in termini di affidabilità di contenuti nell'ambito di uno studio di MS.

Ad ogni indagine individuata all'interno degli Standard è stato assegnato un punteggio (che rappresenta una misura sintetica della significatività dell'indagine stessa) diversificato secondo il livello di approfondimento e il tipo di microzona, un gruppo di appartenenza contraddistinto da un numero da 1 a 7 e un colore (Figg. 1 e 2). In particolare, nella Fig. 2 le indagini e le elaborazioni essenziali sono quelle che risultano associate in maniera esplicita ad uno dei sette gruppi identificati in Fig. 1.

<b>L1</b>	stab	1	2					
	stab amp	1	2	3				
	instab	1	2	3				
<b>L2</b>	stab	1	2					
	stab amp	1	2	3	4	5		
	instab	1	2	3	4	5		
<b>L3</b>	stab	1						
	stab amp	1	2	3	4	5	6	7
	instab	1	2	3	4	5	6	7

Perché lo studio di MS per la singola microzona venga considerato almeno sufficiente è necessario che siano presenti un numero minimo di indagini essenziali distribuite nei diversi gruppi, secondo una articolazione specifica per tipologia di zona e livello di approfondimento dello studio, come rappresentato nella Fig. 1.

Fig. 1 – Tipologie di indagini minime a seconda del livello di approfondimento e del tipo di microzona.

Considerando ad esempio una microzona stabile suscettibile di amplificazione appartenente ad uno studio di livello 1, affinché venga assegnato un punteggio almeno sufficiente, sarà necessario che nella microzona in esame siano presenti: almeno una delle indagini contrassegnate dal valore 1 (colore verde), almeno una delle indagini contrassegnate dal valore 2 (colore azzurro), almeno una delle indagini contrassegnate dal valore 3 (colore arancio). L'indice di tipologia  $I_x$  è basato sul controllo del tipo di indagini presenti in ciascuna microzona, sulla valutazione del punteggio ad esse associato e sulla successiva verifica di esistenza del numero minimo di indagini essenziali richieste. L'indice viene materialmente espresso in forma normalizzata, ove quest'ultima è determinata con una operazione di classazione dei valori derivati dalla applicazione dei punteggi ai diversi tipi di indagini presenti (vedi Tab. 1). Al valore classato viene poi attribuito un significato qualitativo che sinteticamente esprime un giudizio sul tipo di indagini effettuate (Tab. 2). Con tale premessa, per calcolare questo indice è dunque necessario, per ciascuna microzona:

Punteggio (p) associato alla tipologia di indagini			Gruppo di appartenenza								
tipo	Punteggio (p)	ID [304] [354]	L1			L2			L3		
			stab	Stab amp	Instab	stab	Stab amp	Instab	stab	Stab amp	Instab
Carta geologico-tecnica	0.5	1:25k-1:11k	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1:10k-1:6k	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5	1:5k-1:2k	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	SGE						3		6	6
analisi su campione	1	SM								5	5
edometrica	1	ED								5	5
taglio diretto	1	TD								5	5
triassiale CD (consolidata drenata)	1	CD								5	5
triassiale CU (consolidata non drenata)	1	CU								5	5
triassiale III (con consolidata non drenata)											

Fig. 2 – Stralcio della Tab. relativa ai punteggi associati alle diverse tipologie di indagini ed elaborazioni a seconda del livello di approfondimento dello studio.

- elencare i tipi di indagini presenti, a prescindere dal loro numero, ed associare a ciascun tipo il corrispondente punteggio;
- calcolare il valore complessivo dei punteggi secondo quanto descritto al paragrafo successivo;
- associare al punteggio ottenuto il corrispondente valore classato (che rappresenta l'  $It_x$ ), ed il corrispondente valore qualitativo;
- verificare la presenza del numero minimo di indagini essenziali richieste; se la verifica fornisce esito negativo si adotta il valore diminuito dell'indice calcolato di una classe.

**Calcolo dell'Indice di tipologia ( $It_x$ ).** L'attribuzione del punteggio avviene in due fasi:

- Calcolo della somma ( $\Sigma p$ ) dei punteggi ( $p$ ) attribuiti alle tipologie di indagini presenti nella singola microzona, sulla base della sola tipologia delle indagini presenti e non la loro numerosità.
- Normalizzazione della somma  $\Sigma p$ , in funzione della tipologia delle microzone (stabile, stabile suscettibile di amplificazione, instabile) e del livello di approfondimento (L1, L2, L3).

Il risultato del calcolo della somma dei punteggi e della normalizzazione di questa somma è  $It_x$ .

Tab. 1 – Attribuzione del valore di  $It_x$ .

	Zona Stabile		Zona Stabile suscettibile di amplificazione		Zona Instabile	
	Somma dei punteggi ( $\Sigma p$ ) (da Tab. 2)	Indice di tipologia ( $It_x$ )	Somma dei punteggi ( $\Sigma p$ ) (da Tab. 2)	Indice di tipologia ( $It_x$ )	Somma dei punteggi ( $\Sigma p$ ) (da Tab. 2)	Indice di tipologia ( $It_x$ )
L1	>7	1.0	>9	1.0	>9	1.0
	4-7	0.75	5-9	0.75	6-9	0.75
	≤4	0.5	≤5	0.5	3-5	0.5
L2	>7	1.0	>9	1.0	>8	1.0
	5-7	0.75	6-9	0.75	6-8	0.75
	≤5	0.5	≤6	0.5	≤6	0.5
L3	>7	1.0	>13	1.0	>15	1.0
	5-7	0.75	9-13	0.75	11-15	0.75
	≤5	0.5	≤9	0.5	≤11	0.5

A  $It_x$  viene anche associata una classificazione qualitativa come riportato in Tab. 2.

Tab. 2 – Valore  $It_x$  e classi qualitative.

Indice di tipologia ( $It_x$ )	Classe qualitativa
1.0	Ottima/Buona
0.75	Sufficiente
0.5	Insufficiente

A scopo esemplificativo, se alla definizione di una singola microzona hanno concorso: una carta geologico tecnica rilevata alla scala 1:5000 = 5 punti, 1 sondaggio a carotaggio continuo che ha raggiunto il substrato = 3 punti, 2 misure di microtremore a stazione singola = 2 punti, la somma dei punteggi  $\Sigma p$  sarà di 10 punti. Se questa zona viene definita come zona stabile suscettibile di amplificazione in uno studio di MS di livello 1 (L1), l' $It_x$  sarà uguale a 1,0 e la classe qualitativa sarà Ottima/Buona.



**Indice di distribuzione ( $Id_x$ ).** L'indice di distribuzione è stato formulato al fine di quantificare in un valore sintetico alcune caratteristiche riguardanti la distribuzione spaziale delle indagini all'interno delle singole microzone.

In particolare l'Indice caratterizza ciascuna microzona dal punto di vista:

1. dell'area della microzona sottoposta ad indagine in rapporto all'area totale della microzona. Dato che le indagini sono di tipo puntuale o lineare, per poter effettuare tale caratterizzazione è necessario che vengano preliminarmente determinati degli intorni delle indagini all'interno dei quali si ritiene siano estendibili i risultati delle indagini stesse. Si assume, in generale, che sia condizione di maggiore affidabilità quella in cui la superficie esterna agli intorni (buffer) sia di piccole dimensioni rispetto alla superficie totale della microzona;
2. della distribuzione spaziale delle indagini presenti nella microzona, assumendo una maggiore affidabilità per quelle microzone in cui le indagini presentano una distribuzione uniforme; il concetto di distribuzione uniforme è stato tradotto analiticamente (come verrà descritto in seguito), ma in maniera intuitiva è stato inteso come quella distribuzione per cui le indagini non sono concentrate in uno o più cluster né sono eccessivamente distanti tra loro, bensì sono distribuite su tutta la superficie della microzona, in modo tale che non vi siano parti della microzona eccessivamente distanti da indagini.

**Classificazione per contesto geologico.** I parametri utilizzati nel calcolo dell'Indice di distribuzione  $Id_x$  sono diversificati in funzione del contesto geologico all'interno del quale è collocata la singola microzona.

Tale diversificazione è ritenuta necessaria sulla base del concetto, generalmente condiviso, secondo il quale la validità di un dato relativo ad un'indagine è solitamente estrapolabile ad un'intorno significativo, variabile a seconda della complessità geologica che caratterizza l'area dell'indagine.

Dato che l'indice di distribuzione tende proprio a valutare, all'interno di una microzona, i rapporti relativi tra le aree assumibili come aree indagate ed aree non sottoposte ad indagine, è necessario procedere alla estrapolazione del dato relativo ad una indagine rispetto ad una sua "area di pertinenza". Conoscere quindi il contesto geologico che caratterizza una data microzona è dunque vincolo assoluto per poter procedere al calcolo dell'indice. Sono stati individuati, con giudizio esperto e in maniera semplificata 3 contesti geologici (Tab. 3).

Tab. 3 – Contesti geologici finalizzati all'individuazione dell'area di pertinenza delle indagini.

<b>Tipo</b>	<b>Descrizione</b>
Non complesso	-strati litologici piano paralleli e morfologia superficiale sub-orizzontale (pianure, piana costiera, fondovalle in contesti vallivi molto ampi...)
Complesso di tipo 1	-geometria del substrato rigido che crea una valle stretta colmata di sedimenti soffici -presenza di possibili cavità sepolte
Complesso di tipo 2	-geometria articolata del substrato rigido sepolto (presenza di paleovalvi, substrato rigido deformato da strutture tettoniche, andamento del substrato a Horst e Graben, contesti vulcanici) -zona di raccordo tra rilievo e pianura (zona di unghia con substrato rigido sepolto in approfondimento sotto la pianura, in maniera continua o discontinua)
Non definito	-nel solo caso in cui non sia possibile associare ad una microzona uno dei contesti geologici definiti sopra

I contesti geologici non complessi sono, in generale, quelli nei quali il sottosuolo è costituito da strati litologici piano paralleli e la morfologia superficiale è sub-orizzontale (zone di pianura, di piana costiera, zone di fondovalle in contesti vallivi molto ampi). Tutti gli altri contesti sono classificati come complessi. Nella rara eventualità in cui non sia abbiano informazioni sufficienti il contesto sarà non definito.

**Area di pertinenza delle indagini (buffer).** La classificazione secondo la complessità del contesto geologico viene utilizzata per definire la dimensione dell'intorno nel quale si ritiene siano estendibili i risultati dell'indagine (area di pertinenza). Dal punto di vista informatico, il sistema, per determinare l'area di pertinenza di una data indagine, definisce un buffer, ovvero un intorno dell'ubicazione dell'indagine, all'interno del quale si ritiene, con buona approssimazione che il dato possa essere estrapolato ed estendibile.

Il buffer viene calcolato limitatamente al perimetro della microzona all'interno della quale si sta effettuando l'analisi e viene differenziato per aree stabili, aree stabili suscettibili di amplificazione ed aree instabili, oltre che a seconda della complessità del contesto geologico. I diversi raggi di buffer utilizzati sono riportati in Tab. 4.

Tab. 4 – Raggi di buffer associati alle indagini differenziati per contesto geologico e tipo di microzona.

Complessità del contesto geologico	Zona stabile (m)	Zona stabile suscettibile di amplificazione (m)	Zona instabile (m)
Non complesso	200	100	50
Complesso di tipo 1	160	80	40
Complesso di tipo 2	133.3	66.6	33.3
Non definito	133.3	66.6	33.3

Nel caso di contesto geologico “Non definito”, si assume il raggio inferiore per lo specifico tipo di microzona.

**Calcolo dell'Indice di distribuzione ( $I_d$ ).** L'Indice di distribuzione ( $I_d$ ) valuta la distribuzione delle indagini e dei buffer all'interno delle singole microzone in funzione:

- della porzione della superficie della microzona non coperta dalle indagini; si assume che la superficie coperta dai risultati delle indagini sia quella racchiusa all'interno delle aree di buffer costruiti nell'intorno di ciascuna indagine secondo i criteri descritti;
- della distribuzione dell'area non coperta da indagini rispetto alle aree indagate in funzione della distanza tra aree indagate ed aree non indagate e dalla forma che la distribuzione assume.

Dato che l'indice deve tenere in contemporanea considerazione il grado di copertura della microzona e la distribuzione delle indagini al suo interno, è risultata immediatamente evidente l'impossibilità di adottare procedure di calcolo basate sulle tradizionali tecniche di analisi spaziale delle distribuzioni di punti (“*point pattern analysis*”, “*point density estimation*”) poiché restituiscono in generale un valore (anche normalizzato) che permette di valutare il grado di raggruppamento / dispersione di misure puntuali, che non è però direttamente significativo per poter valutare la idoneità della distribuzione rispetto agli obiettivi assunti per la valutazione. Il valore restituito è comunque fortemente influenzato dalla dimensione della regione che contiene le misure (in questo caso la microzona). Per ovviare a tale impossibilità si è adottato di costruire un indice la cui formulazione dà direttamente conto:

- del rapporto tra l'area complessivamente coperta dalla indagini e la dimensione totale della microzona
- della distribuzione delle aree non coperte rispetto alle aree indagate, dove tale distribuzione è valutata in funzione della distanza che singole unità areali non coperte da indagini stabiliscono rispetto all'area indagata più prossima.

La formulazione dell'Indice è la seguente:

$$Id_{cx} = \frac{1}{\log_{10}\left(\frac{10}{A_{tot}} \sum_i A_i D_i^2\right)} < 1 \quad \text{se } \sum_i A_i D_i^2 > A_{tot} \quad (1)$$

$$Id_{cx} = 1 \quad \text{se } \sum_i A_i D_i^2 \leq A_{tot}$$

In cui:

$Id_{cx}$ : indice di distribuzione della microzona x;  $A_{tot}$ : superficie totale della microzona x;  $A_i$ : superficie della cella i-esima, esterna ai buffer e interna alla microzona x, che si trova ad una distanza  $D_i$  dall'area di buffer più vicina;  $D_i$ : distanza del baricentro della cella i-esima dal bordo del buffer più vicino.

Operativamente, l'Indice  $Id_{cx}$  si basa sul concetto che a distanze dalle indagini inferiori al raggio di buffer "l'informazione relativa all'indagine sia estrapolabile ed estendibile", mentre a distanze maggiori vi sia una carenza che pesa in maniera proporzionale al quadrato della distanza. Tale carenza è quantificata dall'indice valutando la distribuzione delle distanze dal buffer in maniera pesata rispetto alla superficie corrispondente a ciascuna distanza. L'utilizzo del termine quadratico per le distanze consente di evidenziare le situazioni di non omogenea copertura della microzona con le indagini effettuate, cioè situazioni di clustering o di eccessiva distanza tra le indagini stesse. In linea generale, all'aumentare della superficie che si trova a distanze maggiori dai buffer delle indagini si otterranno valori minori dell'indice.

Il Fattore è reso logaritmico per poter meglio gestire quantità ricadenti in un intervallo molto ampio ed è formulato in maniera tale da assumere valori compresi tra 0 (condizione peggiore) ed 1 (condizione migliore). Per il calcolo dell'Indice  $Id_c$  vengono implementati i seguenti passi:

- Conversione dell'area della microzona in formato grid, con un passo di 5 x 5 metri
- Creazione dei buffer relativi alle indagini, secondo quanto descritto in precedenza
- Conversione delle aree di buffer in formato grid con passo di 5 x 5 metri
- Combinazione delle grid e formazione della grid di analisi
- Calcolo, per ogni cella esterna alle aree indagate, della distanza euclidea rispetto all'area indagata più vicina
- Calcolo dell'Indice  $Id_{cx}$ .

Una volta calcolato l' $Id_{cx}$  esso viene classato per produrre l'Indice  $Id_x$ , necessario per la costruzione dell'indice complessivo di affidabilità. La Tab. 5 definisce la classazione dei valori. A  $Id_x$  viene anche associata una classificazione (giudizio) qualitativa, anch'essa riportata in Tab. 5.

Tab. 5 – Classi di  $Id_c$  e valore del parametro  $Id_x$ .

$Id_{cx}$	$Id_x$	Classe qualitativa
$0,197 \leq Id_{cx}$	1.0	Ottima/Buona
$0,197 < Id_{cx} \leq 0,155$	0.75	Sufficiente
$Id_{cx} < 0,155$	0.5	Insufficiente

**Indice di Affidabilità delle indagini della microzona x ( $IA_x$ ).** L'Indice di Affidabilità della microzona ( $IA_x$ ) è dato dalla matrice di intersezione dell'Indice di tipologia ( $It_x$ ) e dell'Indice di distribuzione ( $Id_x$ ). Essendo entrambi gli Indici articolati in tre classi, l'Indice di affidabilità della microzona ( $IA_x$ ) potrà assumere 9 valori (Tab. 6) i quali, oltre che valutare sinteticamente l'affidabilità esprimono allo stesso modo le problematiche che hanno portato ad una riduzione dell'affidabilità stessa. Numericamente l'Indice di Affidabilità della microzona ( $IA_x$ ) risulta dalla somma dei valori di  $It_x$  e  $Id_x$ .

Tab. 6 – Denominazione delle classi di  $IA_x$ , punteggio e giudizio qualitativo.

		Indice di distribuzione $Id_x$ (Tab. 6)		
		1.0	0.75	0.5
Indice di tipologia $It_x$ (Tab. 3)	1.0	Aa: 2.0 Ottima/Buona	Ab: 1.75 Sufficiente	Ac: 1.5 Insufficiente distribuzione
	0.75	Ba: 1.75 Sufficiente	Bb: 1.5 Sufficiente	Bc: 1.25 Insufficiente distribuzione
	0.5	Ca: 1.5 Insufficiente tipologia	Cb: 1.25 Insufficiente tipologia	Cc: 1.0 Insufficiente tipologia e distribuzione

**Indice di Affidabilità della carta di MS (IA).**

L'Indice di Affidabilità della carta di MS (IA) è calcolato come il rapporto tra la sommatoria degli indici di affidabilità di ciascuna microzona, pesati rispetto all'area della microzona stessa e la sommatoria degli indici di affidabilità massimi associabili a ciascuna microzona, pesati rispetto all'area delle microzone stesse:

$$IA = \frac{\sum_x \frac{IA_x}{A_x}}{\sum_x \frac{2}{A_x}} \tag{2}$$

Un giudizio relativo all'affidabilità della carta viene definito attraverso i punteggi riportati in Tab. 7.

Tab. 7 – Indice di Affidabilità della carta di MS e giudizio sintetico basato sul risultato della Eq. 1.

IA	$IA \leq 0.58$	$0.58 < IA < 0.63$	$1.5 \leq IA \leq 1.75$	$IA > 1.75$
Giudizio sintetico	La carta è ritenuta scarsamente affidabile. Lo studio è da integrare prima di poter effettuare un successivo livello di approfondimento	La carta è sufficientemente affidabile. Per alcune microzone individuate sono necessarie integrazioni	La carta ha una buona affidabilità. Per alcune microzone individuate possono essere apportate alcune integrazioni	La carta è molto affidabile, non sono richieste integrazioni

L'indice di affidabilità si basa sulla valutazione di una serie di dati oggettivi senza entrare nel merito delle elaborazioni effettuate, a giudizio esperto, dai singoli professionisti. Ulteriori analisi devono essere effettuate sulle elaborazioni che portano alla realizzazione degli elaborati funzionali agli studi di MS (costruzione del modello geologico tecnico, simulazioni numeriche, restituzione cartografica delle microzone, incertezze sui risultati, ecc). In questo senso si prevede, anche sulla base dei numerosi dati archiviati, di poter in futuro sviluppare ulteriori metodi per la valutazione degli studi.

**Bibliografia**

Albarelo D., Castenetto S., Naso G.; 2011: *Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità di una carta di MS di livello I*. Ingegneria Sismica, anno XXVII n. 2  
 Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Bramerini F., Castenetto S., Naso G., Quadrio B.; 2012: *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0*.  
 <www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/standard\_studi\_ms.wp>