



COMUNE DI TRAONA

PROVINCIA DI SONDRIO

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE AI SENSI DELLA L.R. 12/2005

Professionista incaricato :

Geol. Fabrizio Bigioli

Titolo elaborato :

Analisi del rischio sismico locale

| | | | |
|------------------------|--|----------------------|--|
| ADOTTATA IL | | con Delibera C.C. n. | |
| APPROVATA IL | | con Delibera C.C. n. | |
| Pubblicazione BURL dal | | al | |

Data :

NOVEMBRE 2016

Elaborato :

R02



Dott. Fabrizio Bigioli GEOLOGO

Via Valeriana, 97 – loc Piussoigno – 23016 CERCINO (SO)



/ fax 0342 680 651

Mobile 339 6096386

email info@bigioli.it - PEC fabrizio.bigioli@epap.sicurezzapostale.it



INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. INQUADRAMENTO SISMICO DELLA VALTELLINA..... | 3 |
| 2.1. INQUADRAMENTO GENERALE SISMICITA` IN VALTELLINA _____ | 3 |
| 2.2. LA SISMICITA` DELLE ALPI CENTRALI _____ | 7 |
| 2.3. QUADRO SISMO TETTONICO _____ | 10 |
| 3. ANALISI E VALUTAZIONI DEGLI EFFETTI SISMICI LOCALI FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELL'ASPETTO SISMICO DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO | 12 |
| 3.1. NORMATIVA VIGENTE _____ | 12 |
| 3.2. ANALISI DEL RISCHIO _____ | 15 |
| 3.3. METODOLOGIA DI STUDIO _____ | 17 |
| 3.4. 1° LIVELLO _____ | 19 |
| 3.5. 2° LIVELLO _____ | 21 |
| 3.6. 3° LIVELLO _____ | 26 |
| 4. ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI TRAONA..... | 29 |
| 4.1. CARTA DELLA PERICOLOSITA` SISMICA LOCALE (1° LIVELLO)_____ | 29 |
| 4.2. APPROFONDIMENTO SISMICO DI 2° LIVELLO _____ | 30 |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



1. PREMESSA

La Legge di Governo del Territorio, oltre a confermare la necessità di elaborare un'adeguata conoscenza geologica locale, evidenzia l'importanza di valutare la *risposta sismica locale*, in accordo con il D.M. 14.09.2005 "*Norme Tecniche per le Costruzioni*" ed il nuovo D.M. 14.01.2008 "*Approvazione delle Nuove Tecniche per le Costruzioni*" che prevede di tener conto dell'azione degli eventi sismici nell'ambito della progettazione di nuove strutture, in conseguenza del fatto che è stata eliminata la classe dei comuni "non sismici".

Il presente documento, parte integrante dello studio di definizione della componente geologica, idrogeologia e sismica dei P.GT, si propone di approfondire lo studio geologico esistente ai sensi delle nuove direttive per quanto concerne la componente sismica e di recepire la valutazione della risposta sismica del territorio in campo urbanistico.

2. INQUADRAMENTO SISMICO DELLA VALTELLINA

2.1. INQUADRAMENTO GENERALE SISMICITA' IN VALTELLINA

Dalla consultazione dei registi dei terremoti storici risulta che la Valtellina (specialmente la parte bassa) nel tempo è stata interessata da eventi sismici di basso magnitudo; un'attività maggiore si è avuta nella zona dell'alta Valtellina, sede anche di recenti eventi tellurici di media intensità.

In particolare l'alta Valtellina, a partire dalla fine dell'anno 1999 è stata interessata da numerosi terremoti, alcuni dei quali risentiti in aree abbastanza estese e che hanno destato paura e preoccupazione nella popolazione.

| Data | Tempo (UTC) | Latitudine | Longitudine | Prof. | ML | Area epicentro |
|-----------|-------------|------------|-------------|-------|-----|----------------|
| 28Dec1999 | 01:38:11.2 | 46.5N | 10.3E | 15 | 2.4 | Sta. Maria |
| 29Dec1999 | 20:42:33.7 | 46.5N | 10.4E | 15 | 4.9 | Bormio |
| 30Dec1999 | 03:21:42.1 | 46.5N | 10.3E | 12 | 2.6 | Bormio |
| 30Dec1999 | 6:59:02:07 | 46.6N | 10.3E | 12 | 1.9 | Sta. Maria |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



| | | | | | | |
|-----------|-------------|-------|-------|----|-----|------------|
| 30Dec1999 | 11:02:48.7 | 46.6N | 10.3E | 12 | 1.6 | Sta. Maria |
| 30Dec1999 | 17:06:50.2 | 46.5N | 10.3E | 13 | 1.8 | Sta. Maria |
| 30Dec1999 | 17:50:34.5 | 46.6N | 10.3E | 14 | 1.6 | Sta. Maria |
| 30Dec1999 | 20:50:11.6 | 46.6N | 10.3E | 9 | 1.4 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 02:41:24.9 | 46.6N | 10.2E | 6 | 0.9 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 04:55:53.5 | 46.5N | 10.4E | 15 | 4.3 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 5:23:01:02 | 46.6N | 10.3E | 11 | 1.2 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 06:10:51.1 | 46.6N | 10.3E | 12 | 1.3 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 8:06:03:03 | 46.6N | 10.3E | 12 | 1.5 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 8:16:08:07 | 46.6N | 10.3E | 11 | 1.4 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 09:55:56.3 | 46.5N | 10.3E | 7 | 0.7 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 09:56:37.4 | 46.5N | 10.3E | 15 | 0.7 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 10:19:07:01 | 46.5N | 10.3E | 11 | 1.2 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 15:01:55.1 | 46.6N | 10.3E | 15 | 2.5 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 15:45:22.1 | 46.6N | 10.3E | 12 | 1.1 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 19:18:26.8 | 46.7N | 10.3E | 11 | 1.7 | S-Charl |
| 31Dec1999 | 19:59:06:02 | 46.6N | 10.3E | 12 | 0.9 | Sta. Maria |
| 31Dec1999 | 20:23:57.5 | 46.6N | 10.3E | 10 | 1.2 | Sta. Maria |
| 01Jan2000 | 02:02:46.5 | 46.6N | 10.3E | 9 | 0.9 | Sta. Maria |
| 01Jan2000 | 04:02:46.9 | 46.5N | 10.3E | 7 | 1.2 | Sta. Maria |
| 01Jan2000 | 18:24:18.1 | 46.6N | 10.5E | 5 | 1.7 | Muestair |
| 01Jan2000 | 21:31:47.7 | 46.6N | 10.3E | 9 | 1.1 | Sta. Maria |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



| | | | | | | |
|------------------|-------------------|--------------|--------------|-----------|------------|--------------------|
| 02Jan2000 | 12:26:41.8 | 46.5N | 10.5E | 12 | 1.8 | Ortles |
| 03Jan2000 | 04:39:40.6 | 46.5N | 10.4E | 10 | 2.2 | Sta. Maria |
| 04Jan2000 | 05:13:24.0 | 46.5N | 10.5E | 14 | 2.3 | Ortles |
| 04Jan2000 | 12:58:30.9 | 46.5N | 10.3E | 3 | 1.8 | Bormio |
| 05Jan2000 | 11:44:42.4 | 46.6N | 10.3E | 4 | 1.4 | Sta. Maria |
| 08Jan2000 | 16:38:19.6 | 46.5N | 10.2E | 5 | 2.4 | Bormio |
| 08Jan2000 | 20:59:33.6 | 46.6N | 10.2E | 5 | 1.9 | Sta. Maria |
| 09Jan2000 | 12:20:05:07 | 46.6N | 10.2E | 5 | 2.3 | Piz Quattervals |
| 11Jan2000 | 20:33:31.2 | 46.5N | 10.3E | 3 | 2.2 | Bormio |
| 12Jan2000 | 21:40:46.9 | 46.6N | 10.0E | 5 | 1.6 | Piz Quattervals |
| 16Jan2000 | 13:03:36.9 | 46.6N | 10.3E | 8 | 2.3 | Sta. Maria |
| 16Jan2000 | 14:13:23.6 | 46.6N | 10.3E | 10 | 1.5 | Sta. Maria |
| 16Jan2000 | 16:01:02:00 | 46.6N | 10.3E | 13 | 1.7 | Sta. Maria |
| 16Jan2000 | 20:07:08:01 | 46.6N | 10.3E | 11 | 1.4 | Sta. Maria |
| 16Jan2000 | 22:21:16.3 | 46.6N | 10.3E | 13 | 2.5 | Sta. Maria |
| 17Jan2000 | 14:47:01.1 | 46.6N | 10.3E | 6 | 1.3 | Sta. Maria |
| 18Jan2000 | 21:46:50.7 | 46.6N | 10.3E | 11 | 1.3 | Sta. Maria |
| 19Jan2000 | 03:52:09.4 | 46.5N | 10.3E | 4 | 1.3 | Sta. Maria |
| 19Jan2000 | 01:04:15.4 | 46.6N | 10.3E | 10 | 1.2 | Sta. Maria |
| 22Jan2000 | 10:09:30.1 | 46.5N | 10.4E | 15 | 1.4 | Bormio |
| 02-feb-00 | 21:57:11.8 | 46.6N | 10.3E | 10 | 2.0 | Sta. Maria |
| 02-feb-00 | 20:14:50.0 | 46.6N | 10.3E | 10 | 1.2 | Sta. Maria |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



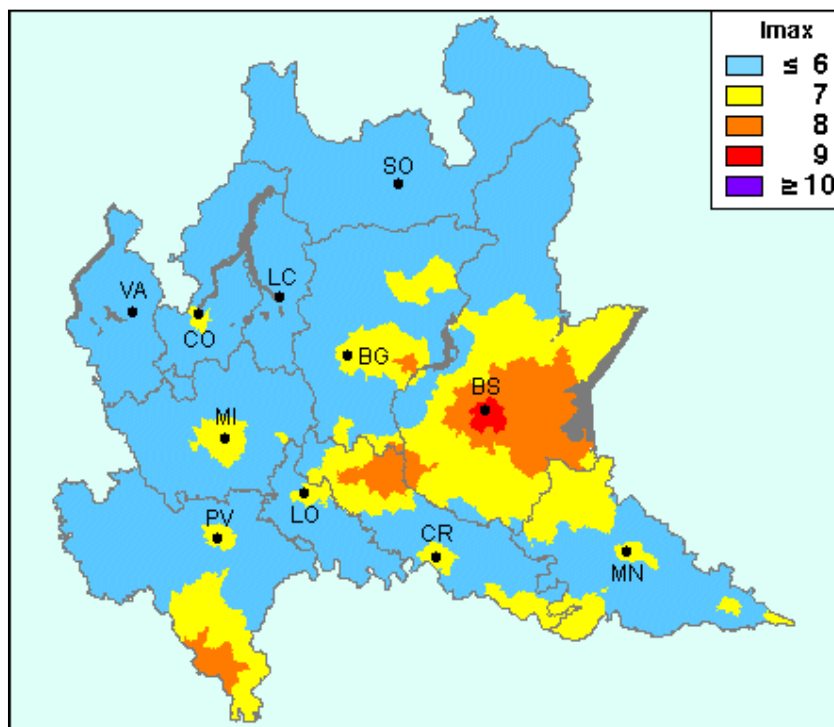
| | | | | | | |
|-----------|------------|-------|-------|----|-----|------------|
| 04-feb-00 | 08:05:07.5 | 46.6N | 10.3E | 10 | 2.3 | Sta. Maria |
| 05-feb-00 | 06:05:11.5 | 46.5N | 10.3E | 8 | 1.1 | Sta. Maria |
| 09-feb-00 | 16:01:17.1 | 46.6N | 10.3E | 15 | 2.7 | Sta. Maria |
| 12-feb-00 | 13:14:24.2 | 46.6N | 10.3E | 10 | 2.0 | Sta. Maria |
| 15-feb-00 | 05:29:41.6 | 46.6N | 10.3E | 12 | 1.2 | Sta. Maria |
| 15-feb-00 | 04:15:51.1 | 46.6N | 10.3E | 12 | 1.9 | Sta. Maria |
| 19-feb-00 | 23:12:33.1 | 46.5N | 10.3E | 10 | 1.0 | Sta. Maria |
| 25-feb-00 | 11:44:52.6 | 46.6N | 10.3E | 15 | 1.6 | Sta. Maria |
| 27-feb-00 | 09:53:18.5 | 46.5N | 10.4E | 10 | 1.7 | Bormio |
| 28-feb-00 | 19:58:55.8 | 46.5N | 10.4E | 10 | 1.7 | Bormio |
| 29-feb-00 | 14:34:52.4 | 46.5N | 10.3E | 10 | 1.8 | Bormio |
| 05-mar-00 | 21:24:42.3 | 46.5N | 10.4E | 10 | 1.6 | Bormio |
| 16-mar-00 | 07:44:31.6 | 46.5N | 10.4E | 10 | 1.1 | Bormio |
| 18-mar-00 | 23:56:49.6 | 46.5N | 10.3E | 10 | 1.3 | Sta. Maria |
| 29-mar-00 | 00:58:20.8 | 46.4N | 10.2E | 11 | 1.8 | Bormio |
| 03-apr-00 | 00:28:05.1 | 46.6N | 10.3E | 13 | 2.9 | Sta. Maria |
| 05-apr-00 | 23:21:01.7 | 46.5N | 10.3E | 10 | 1.5 | Bormio |
| 06-apr-00 | 21:07:18.6 | 46.5N | 10.3E | 5 | 1.8 | Sta. Maria |
| 06-apr-00 | 17:40:36.9 | 46.5N | 10.3E | 13 | 4.3 | Bormio |
| 06-apr-00 | 10:00:30.6 | 46.6N | 10.3E | 12 | 0.9 | Sta. Maria |
| 08-apr-00 | 06:27:56.2 | 46.5N | 10.5E | 10 | 1.9 | Ortles |
| 09-apr-00 | 10:41:07.8 | 46.2N | 9.8E | 10 | 2.2 | Sondrio |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



Si è trattato di eventi non particolarmente energetici, non frequenti nell'area ma che, al tempo stesso, hanno alcuni precedenti e sono di un livello tale da potere provocare lievi danni se generati in prossimità di centri abitati e a profondità non rilevanti.

In passato, comunque, i terremoti NON hanno prodotto in Valtellina effetti superiori al 6 grado della scala MCS, (che corrisponde a lievi danni non strutturali).



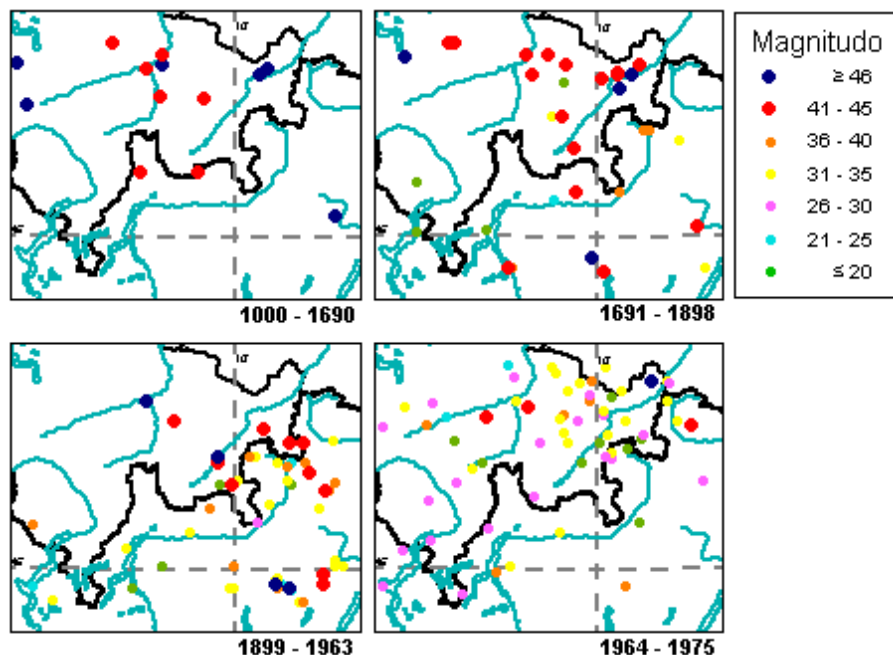
Distribuzione delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni lombardi.

2.2. LA SISMICITA' DELLE ALPI CENTRALI

Gli epicentri dei terremoti che hanno interessato la regione delle Alpi Centrali nel periodo tra il 1000 e il 1975 sono di seguito rappresentati.

Come si può vedere, fino al secolo scorso sono segnalati solo i terremoti più forti, nessuno dei quali è localizzato nell'area degli eventi recenti o nella zona di studio.

A partire dall'inizio di questo secolo si sono registrati alcuni terremoti paragonabili per livello energetico a quello del 06 aprile 2000, localizzati nella Valle del Fuorn e nel gruppo dell'Ortles.



Sismicit  delle Alpi Centrali in 4 finestre temporali.

Alcuni terremoti simili, per livelli energetici e distribuzione degli effetti, a quelli del dicembre 1999, si sono verificati nel corso del XX secolo:

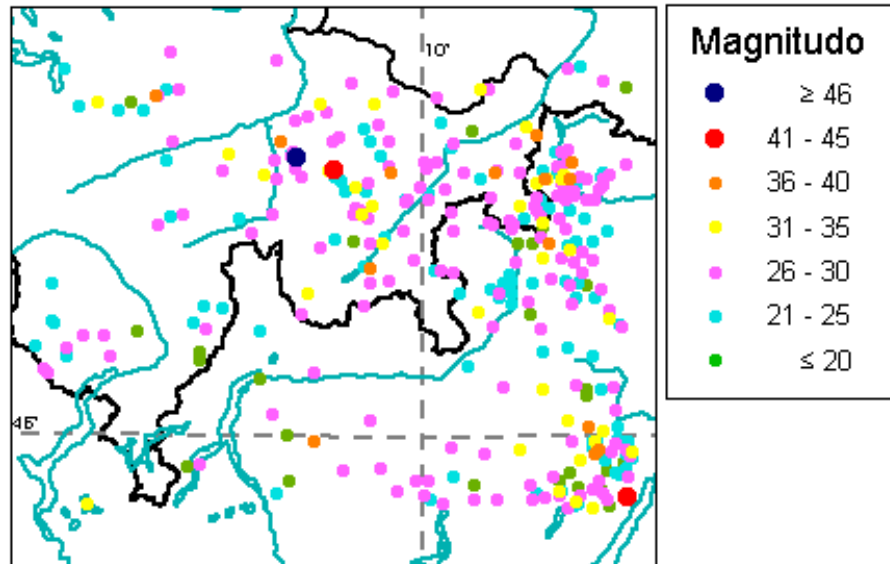
| Data | Tempo (UTC) | Latitudine | Longitudine | ML | Area epicentro |
|-------------|-------------|------------|-------------|-----|----------------|
| 20 Apr 1907 | 13:25 | 46.4N | 10.5E | 4.0 | Gran Zebr  |
| 21 May 1924 | 15:32 | 46.4N | 10.5E | 4.1 | Val Monastero |
| 09 Aug 1961 | 13:04 | 46.4N | 10.5E | 4.2 | Val Monastero |

Terremoti di entit  inferiore sono segnalati il 12 dicembre 1887, 13 novembre 1895, 4 settembre 1897, 20 settembre 1910 e 12 ottobre 1929.

Negli ultimi 25 anni l'installazione di numerose stazioni sismiche, in territorio sia italiano che svizzero, ha consentito la registrazione e la localizzazione di un discreto numero di terremoti di bassa energia, utili per segnalare le zone in cui la crosta   sottoposta a tensioni.

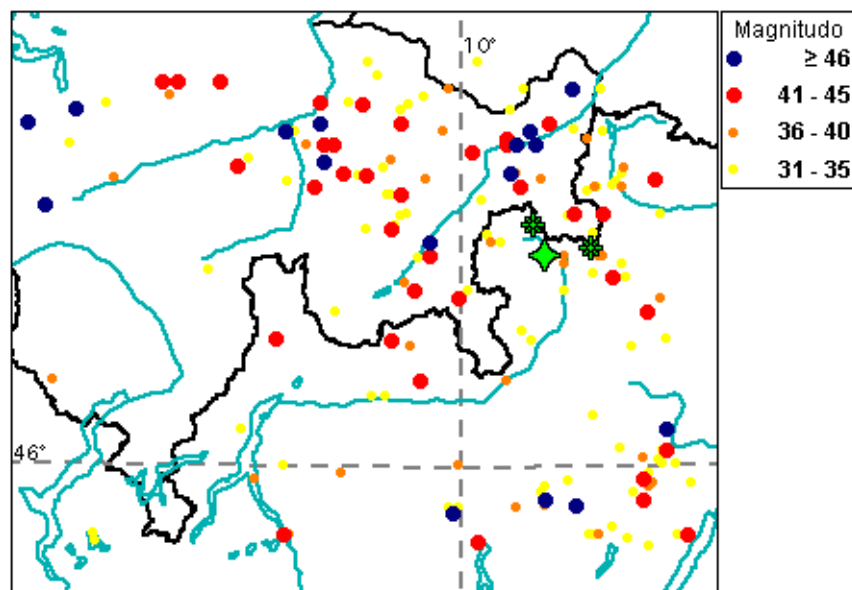


I terremoti registrati storicamente permettono di evidenziare una fascia di sismicità disposta in direzione NO-SE, parallela all'asse Gran Zebrù - Ortles, che interseca la fascia attiva dell'Engadina.



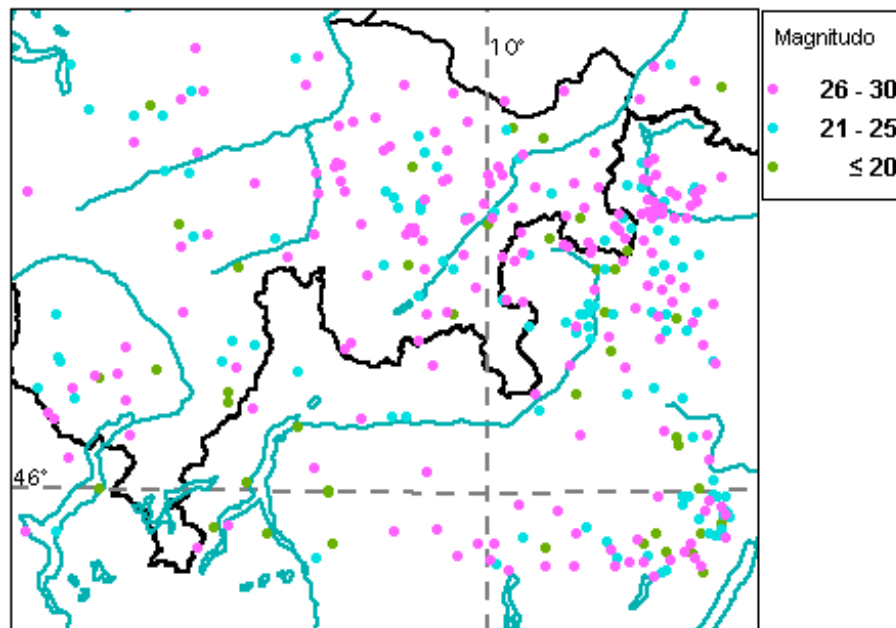
Sismicità delle Alpi Centrali nel periodo 1976-1995.

Riassumendo, nelle figure sottostanti è rappresentata la sismicità delle Alpi Centrali nel periodo 1000-1995, suddivisa in due livelli energetici. Nel primo grafico le stelline rappresentano i terremoti del 29/31 dicembre 1999, mentre il rombo rappresenta il terremoto del 06 aprile 2000



Sismicità delle Alpi Centrali nel periodo 1000 - 1995. Magnitudo > 3.

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



Sismicità delle Alpi Centrali nel periodo 1000 - 1995. Magnitudo ≤ 3 .

Da dati sopra si evince che l'area di TRAONA ha generato storicamente alcuni terremoti con magnitudo inferiore a 2.0 .

2.3. QUADRO SISMO TETTONICO

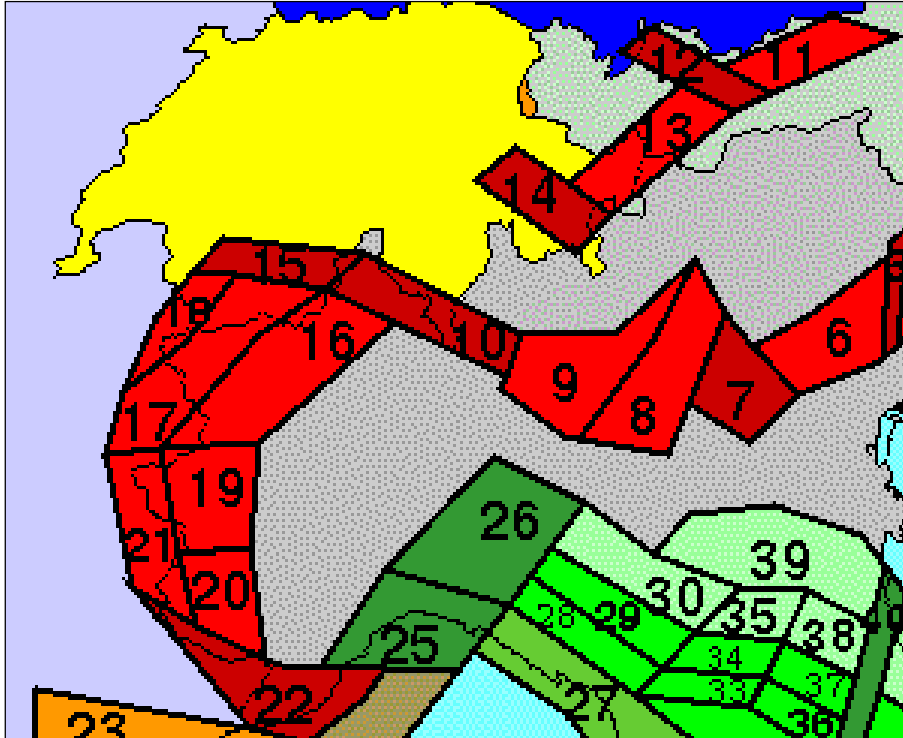
Le cause della sismicità della Valtellina non sono note, si tratta infatti di terremoti troppo deboli per lasciare impronte nelle formazioni geologiche di superficie, impronte che sarebbero peraltro difficili da identificare a causa del contesto geomorfologico di montagna che rende difficile la registrazione ed il riconoscimento di tali impronte.

Il modello sismogenetico del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti del CNR, che racchiude la maggior parte delle aree in cui possono originarsi eventi di livello paragonabile o superiore a quelli recenti dell'Alta Valtellina, colloca la zona origine dei terremoti in questione ai margini di una zona sismogenetica disegnata attorno all'Engadina.

E` comunque assodato che la cosiddetta Linea Insubrica, una linea di discontinuità molto lunga che coincide per un buon tratto con l'asse delle Valtellina, non è oggi attiva e non può quindi essere responsabile della odierna sismicità.



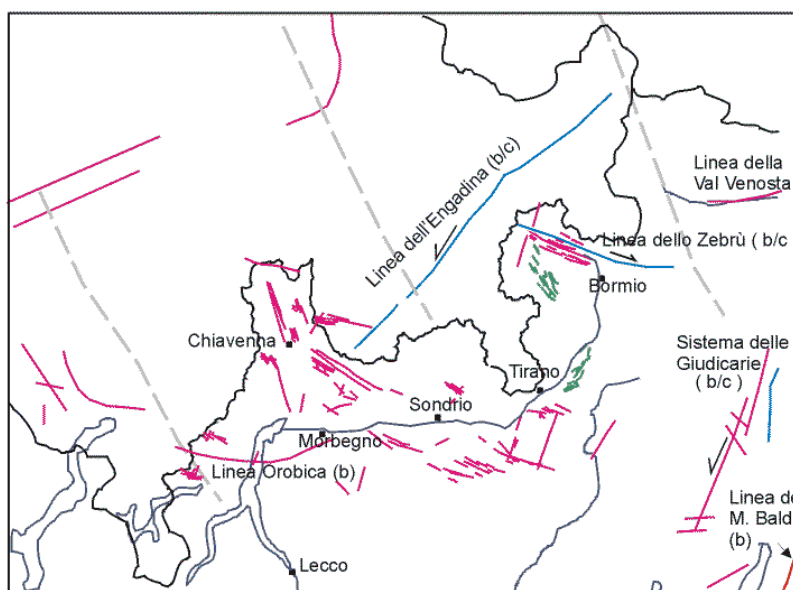
La fascia di sismicità disposta in direzione NO-SE, parallela all'asse Gran Zebrù - Ortles, corre invece all'incirca parallelamente ad un'altra linea di discontinuità di importanza regionale, la cosiddetta Linea dello Zebrù.



Zone sismogenetiche.

Essa è stata recentemente classificata, sulla base delle conoscenze geologiche, come una faglia ad attività quaternaria di cui tuttavia non sono evidenti espressioni superficiali dell'attività nel corso degli ultimi 50.000 anni.

Allo stato attuale delle conoscenze, dunque, le cause dell'odierna sismicità potrebbero esser collegate a questa fascia di discontinuità tettonica.



(La legenda segue, per le faglie, le indicazioni della legenda del GNDT (1999) per l'inventario delle faglie attive su scala nazionale).

- Faglie per le cui espressioni superficiali sono disponibili dati sull'attività nel corso del Pleistocene superiore-Olocene.
 - Faglie ad attività quaternaria per le cui espressioni superficiali non sono disponibili dati sull'attività nel corso del Pleistocene superiore-Olocene.
 - Elementi strutturali fragili di incerta interpretazione (neotettonici o gravitativi)
 - Superfici di taglio di origine gravitativa profonda attive nel Pleistocene sup. - Olocene
- (a: faglie normali; b: faglie inverse; c: faglie trascorrenti)
- - - Direzione del vettore di massima compressione neotettonica; (da Pavoni e Mayer Rosa, 1978)

*Carta degli elementi strutturali delle Alpi Centrali significativi al fine della definizione della tettonica attiva
(a cura di M. Onida).*

3. ANALISI E VALUTAZIONI DEGLI EFFETTI SISMICI LOCALI FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELL'ASPETTO SISMICO DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

3.1. NORMATIVA VIGENTE

Con l' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata sulla G.U. n. 105 dell' 8 maggio

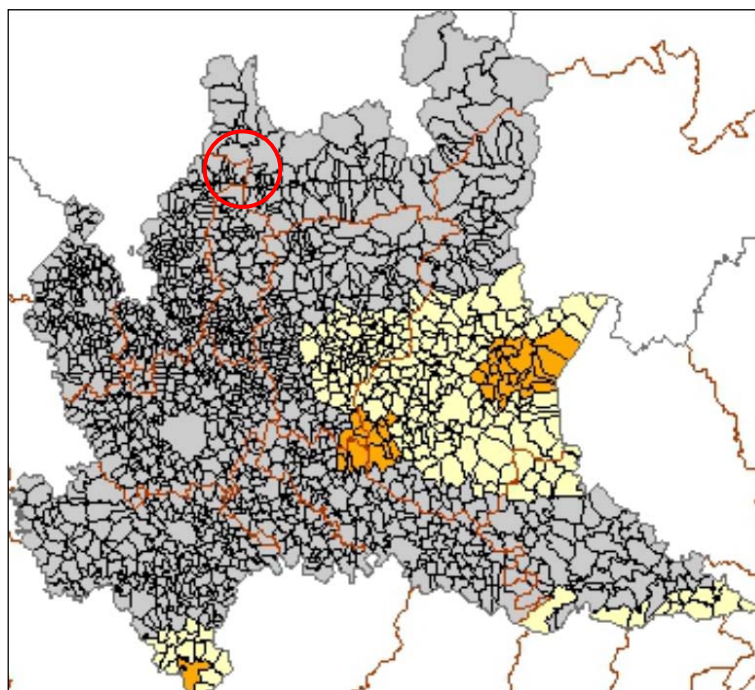
Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



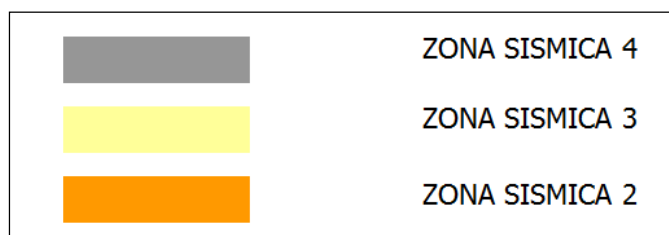
2003 - Supplemento ordinario n. 72, sono state individuate in prima applicazione le zone sismiche sul territorio nazionale, e fornite le normative tecniche da adottare per le costruzioni nelle zone sismiche stesse. Secondo tale classificazione il territorio del Comune di Traona era inserito nella zona 4 (livello di pericolosità sismica molto basso), mentre nelle normative precedenti non era stato classificato.

Tale Ordinanza è entrata in vigore, per gli aspetti inerenti la classificazione sismica, il 23 ottobre 2005, data coincidente con l'entrata in vigore del D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23 settembre 2005, Supplemento ordinario n. 159.

La Regione Lombardia, con d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata Ordinanza 3274 / 03.



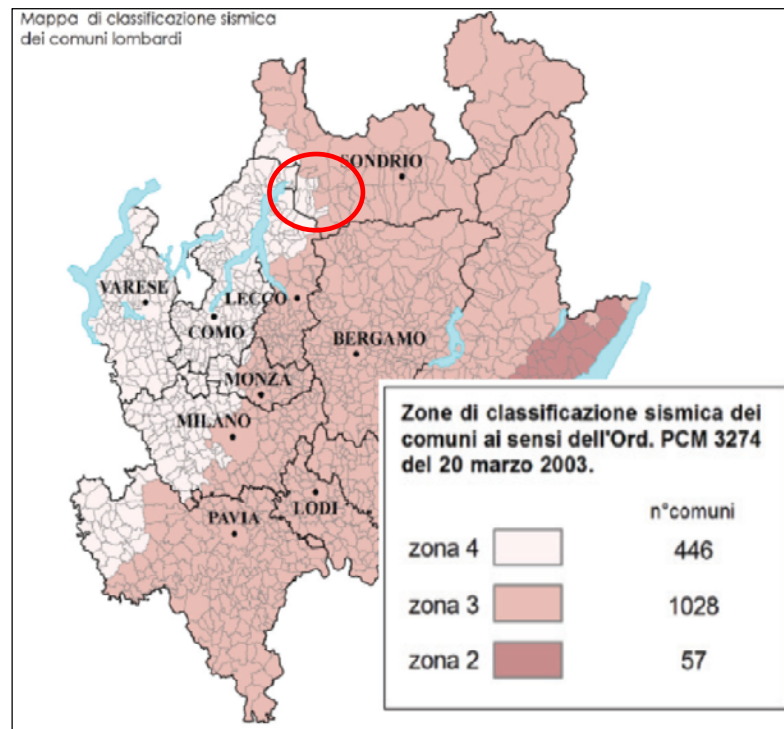
Classificazione sismica secondo la precedente normativa



Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



Nel 2014 è stata approvata la D.g.r. 11 luglio 2014 – n. X / 2129 che ha previsto l'aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art.3, c. 108, lett. d). Tale provvedimento entrato in vigore il 10 aprile 2016 ha comportato una riclassificazione sismica dei vari comuni lombardi; in particolare il Comune di Traona è stato riclassificato da zona sismica 4 a **zona sismica 3 (livello di pericolosità sismica basso)**.



Classificazione sismica secondo la recente normativa vigente

La zona sismica 3 per il **Comune di TRAONA** è stata individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni secondo lo schema seguente :

| Zona | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g) | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) (a_g/g) |
|------|---|---|
| 1 | > 0,25 | 0,35 |
| 2 | 0,15 – 0,25 | 0,25 |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



| | | |
|---|-------------|------|
| 3 | 0,05 – 0,15 | 0,15 |
| 4 | < 0,05 | 0,05 |

3.2. ANALISI DEL RISCHIO

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali), in occasione di eventi sismici, possono influenzare la pericolosità sismica di base, producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area. In funzione, quindi, delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità.

Effetti di sito o di amplificazione sismica locale : interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Tali effetti si distinguono in due gruppi, che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito :

- ***effetti di amplificazione topografica*** : si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio



è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico;

- **effetti di amplificazione litologica** : si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno, e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Effetti di instabilità : interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; sono rappresentati da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi, e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito:

- nel caso di versanti in equilibrio precario (di materiale sciolto o in roccia) si possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali e colamenti), per cui il sisma rappresenta un fattore d'innescò del movimento, sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo, sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali;
- nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici, quali faglie sismogenetiche, si possono verificare movimenti relativi verticali ed orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture;
- nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico - meccaniche si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni



granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione;

- nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vacuolari presenti nel sottosuolo si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.

3.3. METODOLOGIA DI STUDIO

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale è riportata nell'allegato 5 della D.G.R. del 22 dicembre 2005 n. 8/1566 *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”* aggiornata con D.G.R. del 28 maggio 2008 n. 8/7374 *“Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”* e con successiva D.G.R. del 30 Novembre 2011 n. IX/2616 *“Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”* .

L'allegato 5 riporta le procedure per l' "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.", in adempimento a quanto previsto dal d.m. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni", dall' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003 e delle avvenute modifiche in materia di norme tecniche sulle costruzioni (d.m. 14 gennaio 2008).

La procedura di valutazione prevede tre livelli successivi di approfondimento, da applicarsi in funzione della zona sismica di appartenenza.

Il **1° livello**: consiste nell'individuazione delle aree soggette ad effetti sismici locali a partire dalla cartografia di inquadramento e dai dati esistenti



Prevede la realizzazione di una carta che illustri le aree suscettibili di effetti sismici quali instabilità, cedimenti e liquefazioni, amplificazioni topografiche, litologiche e geometriche, cedimenti differenziali.

Il **2° livello**: consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa del fattore di amplificazione (Fa) nelle aree individuate con l'analisi di 1° livello, e il confronto con i valori di riferimento.

Il **3° livello**: prevede la definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

Per comuni come **TRAONA** ricadenti nella zona sismica 3 secondo la normativa vigente è obbligatoria la realizzazione del primo livello di approfondimento sismico a scopo pianificatorio mentre è obbligatoria la realizzazione del secondo livello di approfondimento per gli interventi edificatori che saranno realizzati all'interno delle zone classificate nella Carta di pericolosità sismica locale come Z3 (zone di scarpata o cresta potenzialmente soggette a amplificazione topografica) e Z4 (terreni potenzialmente soggetti a amplificazioni litologiche e geometriche) .

| | Livelli di approfondimento e fasi di applicazione | | |
|------------------|---|---|---|
| | 1° livello fase pianificatoria | 2° livello fase pianificatoria | 3° livello fase progettuale |
| Zona sismica 2-3 | obbligatorio | Nelle zone PSL Z3 e Z4 se inerenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili | Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale. Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 |
| Zona sismica 4 | obbligatorio | Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) | Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale. Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti. |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



3.4. 1° LIVELLO

Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime di falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovra consolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.

Lo studio nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento (carta geologica, carta geomorfologica, ecc.) e nella redazione di un'apposita cartografia in scala 1 : 10.000 rappresentata dalla **Carta di pericolosità sismica locale**, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo in grado di determinare gli effetti sismici locali.

La cartografia (PSL) individuerà gli scenari di pericolosità sismica locale riportati nella tabella seguente.

| Sigla | SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE | EFFETTI |
|------------|--|-------------|
| Z1a | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi | Instabilità |
| Z1b | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti | |
| Z1c | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana | |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



| | | |
|-----|--|--|
| Z2 | Zona con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale) | Cedimenti e/o liquefazioni |
| Z3a | Zona di ciglio H > 10m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica) | Amplificazioni topografiche |
| Z3b | Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo: appuntite-arrotondate | |
| Z4a | Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| Z4b | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre | |
| Z4c | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche) | |
| Z4d | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine pluvio-colluviale | |
| Z5 | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse | Comportamenti differenziali |

La Carta PSL rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento :

- il 2° livello permetterà la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici;
- il 3° livello permetterà sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata, sia la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1) e dei cedimenti e/o liquefazioni (zone Z2).

Non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.



3.5. 2° LIVELLO

L'approfondimento di 2° livello consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di Fa.

Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0,1 – 0,5 s e 0,5 - 1,5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio; in particolare l'intervallo tra 0,1 – 0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5 e 1,5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0,1 – 0,5 s: questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s.

Effetti litologici: la procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri :

- litologia prevalente dei terreni presenti in sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento della Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico.

Sulla base delle conoscenze bibliografiche dei terreni oggetto di studio e di indagini sismiche ad hoc effettuate sul terreno si individuano le litologie prevalenti e per esse si scelgono le schede che più si avvicinano alla granulometria dei depositi in loco.

Attualmente le Regione fornisce sei schede :

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;



- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento in base alla granulometria dei depositi in posto è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità; in particolare si dovrà verificare l'andamento delle Vs con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di Vs inferiori a 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle Vs con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda, potrà esser scelta un'altra scheda che presenti l'andamento della Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine sismica ad hoc.

Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non mostrano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di Vs con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte.

In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accerteranno anche i casi in cui i valori di Vs escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s e nell'intervallo 0,5 – 1,5 s, in base al valore del periodo proprio del sito definito T.



Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1, N} h_i}{\frac{\sum_{i=1, N} V_s \cdot h_i}{\sum_{i=1, N} h_i}}$$

ove h_i e V_{si} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Il valore di Fa individuato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto dal sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione è effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (NTC) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D, E) e per i due intervalli 0,1 - 0,5 e 0,5 - 1,5 s.

Il parametro calcolato per ciascun comune e fornito dalla Regione Lombardia (consultabile in un data base online) rappresenta il valore soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0,1 che tiene conto della variabilità del fattore di Fa ottenuto.

Si possono quindi presentare due situazioni:

- il valore di Fa è inferiore al valore soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto per normativa;



- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema :

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Le categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica sono così definite nell' O.P.C.M. 3274 / 2003:

- *A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
- *B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT >50, o coesione non drenata c_u >250 kPa).
- *C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille a media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
- *D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori $V_{s30} < 180$ m/s ($NSPT < 15$, $c_u < 70$ kPa).



- *E - Profili di terreno costituiti da stati superficiali alluvionali, con valori di Vs30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 >800 m/s.*

Effetti morfologici: l'amplificazione degli effetti sismici di un determinato sito può verificarsi in particolari condizioni morfologiche, quali la presenza di scarpate e/o di creste. Il riconoscimento di tali ambiti (scenari Z3a e Z3b) è oggetto dello studio di 1° livello.

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti di amplificazione delle creste, si distingue dapprima la tipologia (appuntita o arrotondata); per le creste appuntite occorre determinare il fattore di forma H/L (H: dislivello massimo; L: larghezza della base del rilievo), quindi si sceglie la curva di correlazione più appropriata tra quelle proposte nelle schede di valutazione in funzione del valore di L, quindi si calcola il valore di Fa. Nel caso, invece di creste arrotondate, il valore di Fa dipende solo dal fattore di forma H/L.

Per quanto riguarda l'analisi dello scenario di scarpata, dapprima si definisce la tipologia di scarpata (in pendenza, ideale, in controtendenza), e poi, sulla base dei caratteri morfologici si valuta il valore di Fa, come indicato nella tabella riportata qui di seguito.

| Classe altimetrica | Classe di inclinazione | Valore di Fa _{0.1-0.5} | Area di influenza |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 10 m ≤ H ≤ 20 m | 10° ≤ α ≤ 90° | 1.1 | A _i = H |
| 20 m ≤ H ≤ 40 m | 10° ≤ α ≤ 90° | 1.2 | |
| H > 40 m | 10° ≤ α ≤ 20° | 1.1 | A _i = 3/4 H |
| | 20° ≤ α ≤ 40° | 1.2 | |
| | 40° ≤ α ≤ 60° | 1.3 | A _i = 2/3 H |
| | 60° ≤ α ≤ 70° | 1.2 | |
| | α > 70° | 1.1 | |

Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



H: distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale della scarpata

□: inclinazione del fronte principale della scarpata

In questo modo, sia per lo scenario di cresta che di scarpata si ottiene una zonazione del territorio compreso nell'area di influenza sulla base del valore di Fa.

Il passo successivo è quello di confrontare il valore di Fa ottenuto con il corrispondente valore di soglia riportato nella scheda di valutazione della normativa nazionale; in questo modo, analogamente alla procedura descritta per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica, si verifica se il valore di Fa calcolato è minore o maggiore rispetto al valore di soglia comunale: nel primo caso non è necessaria nessuna prescrizione aggiuntiva, mentre nel secondo caso, in cui si registra un valore di Fa maggiore di quello di soglia, deve essere effettuato il 3° livello di approfondimento o in alternativa riferire i parametri sismici di Fa – ecc. alla categoria di sottosuolo inferiore e quindi più cautelativa.

3.6. 3° LIVELLO

Il terzo livello si applica in fase progettuale agli scenari qualitativi suscettibili di instabilità (Z1b e Z1c), cedimenti e/o liquefazioni (Z2), per le aree suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) che sono caratterizzate da un valore di Fa superiore al valore di soglia corrispondente così come ricavato dall'applicazione del 2° livello.

Per le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse (Z5) non è necessaria la valutazione quantitativa, in quanto è da escludere la costruzione su entrambi i litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

Il 3° livello si applica anche nel caso in cui si stia progettando costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la



cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali.

I risultati delle analisi di 3° livello saranno utilizzati in fase di progettazione al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità.

Effetti di amplificazione morfologica e litologica: l'analisi prevede un approccio di tipo quantitativo e costituisce lo studio di maggior dettaglio, in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è effettuata ricorrendo a metodologie che possono essere classificate come strumentali e numeriche.

La *metodologia strumentale* richiede l'acquisizione di dati strumentali attraverso campagne di registrazione eseguite in sito con l'utilizzo di strumentazioni specifiche, variabili a seconda del parametro di acquisizione scelto (velocimetri ed accelerometri). Le caratteristiche strumentali, il tipo di acquisizione e la disposizione logistica variano in funzione della complessità geologica dell'area di studio, del metodo di elaborazione scelto e del tipo di risultato a cui si vuole pervenire. Le registrazioni eseguite in un'area di studio possono riguardare rumore di fondo (microtremore di origine naturale o artificiale) o eventi sismici di magnitudo variabile; i dati acquisiti devono essere opportunamente selezionati (ripuliti da tutti i disturbi presenti) e qualificati tramite informazioni sismologiche dell'area in esame e permettono di definire la direzionalità del segnale sismico e la geometria della zona sismogenetica - sorgente. Le tracce dei segnali di registrazione devono essere in seguito processate tenendo conto delle diverse condizioni di installazione degli strumenti e delle diverse condizioni di acquisizione dei dati. Inoltre, nel caso siano utilizzate stazioni equipaggiate con strumentazioni con frequenza propria diversa (caso più frequente) occorre rendere omogenei tra loro i vari segnali attraverso una deconvoluzione per le rispettive risposte spettrali. L'analisi sperimentale può presentare diversi gradi di approfondimento ed affidabilità, in funzione del tipo di strumentazione impiegata, del tipo di elaborazione del dato di registrazione e, soprattutto, in funzione dell'intervallo di tempo dedicato alle misurazioni in sito. I metodi di analisi strumentale più diffusi ed utilizzati sono il metodo di Nakamura (1989)¹ e il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)².

¹ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the round surface. QR Railway Tech. Res. Inst., 30, 1

² Kanai, K., Tanaka, T., 1961. On Microtremors. VIII, Bull. Earthquake res. Inst., University of Tokyo, Vol. 39



La *metodologia numerica* consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati, basati su opportune semplificazioni e riduzioni del problema, necessarie ma di influenza abbastanza trascurabile sul risultato finale. I concetti fondamentali su cui si basano i codici di calcolo numerico riguardano la teoria della propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la teoria del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni in condizioni dinamiche. La valutazione della risposta sismica deve tener conto non solo delle variazioni di ampiezza massima del moto sismico di riferimento, ma anche dell'effetto di filtraggio esercitato su di esso dal terreno, cioè delle modifiche nel contenuto in frequenza.

L'applicazione della metodologia numerica richiede una caratterizzazione geometrica di dettaglio del sottosuolo, tramite rilievi specifici, e una caratterizzazione meccanica, tramite accurate indagini geologiche e geotecniche, in grado di determinare i parametri geotecnici statici e dinamici specifici su campioni indisturbati o comunque di alta qualità e in condizioni tali per cui vengano simulate il meglio possibile le condizioni di sito del terreno durante i terremoti attesi. Perciò viene richiesto un programma di indagini geotecniche specifico, i cui risultati saranno da aggiungere a quelli esistenti (1° e 2° livello). E' inoltre necessaria l'individuazione di uno o più input sismici sotto forma di spettri di risposta e/o di accelerogrammi.

Le analisi strumentali e numeriche rappresentano due approcci diversi per la valutazione quantitativa dell'amplificazione locale; essi sono tra loro coerenti ma presentano le seguenti differenze:

- l'analisi numerica ha il vantaggio di essere facilmente applicabile con tempi veloci ma ha lo svantaggio di richiedere alti costi di realizzazione, di considerare modelli semplificati della situazione reale (soprattutto per i codici di calcolo 1D e 2D) e di trascurare l'effetto delle onde superficiali, sottostimando gli effetti ad alti periodi;
- l'analisi strumentale ha il vantaggio di considerare l'effetto della sollecitazione sismica nelle tre dimensioni spaziali ma ha lo svantaggio di considerare eventi di bassa magnitudo, valutando il comportamento dei materiali solo per basse deformazioni in campo elastico, di richiedere, oltre alle analisi sismologiche di registrazione strumentale, analisi geotecniche dinamiche integrative atte a rilevare il comportamento del bedrock sotto sollecitazione, di effettuare le registrazioni per periodi di tempo che dipendono dalla sismicità dell'area e che possono variare da un minimo di 1 mese ad un massimo di 2 anni.



Per compensare i limiti di un metodo con i vantaggi dell'altro è da valutare la possibilità di integrazione delle due metodologie: in questo modo è possibile effettuare un'analisi quantitativa completa che considera sia l'effetto della tridimensionalità del sito sia il comportamento non lineare dei materiali soggetti a sollecitazioni sismiche.

Al fine di poter effettuare l'analisi di 3° livello sono state predisposte dalla R.L. due db (lo-acc e curve-lomb.xls).

4. ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI TRAONA

4.1. CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (1° LIVELLO)

Per la definizione delle differenti aree di possibile amplificazione sismica e degli elementi lineari di amplificazione ci si è basati sulla documentazione cartografica esistente quali la Cartografia geo ambientale, la carta della Pericolosità Sismica Locale del P.G.T. Comunale attualmente vigente, il P.T.C.P. di Sondrio, la documentazione della Regione Lombardia consultabile nella banca dati S.I.T. – GEOPORTALE nonché dati noti allo scrivente derivanti da indagini geognostiche sia dirette che indirette effettuate sul territorio in esame e da rilievi puntuali esperiti

Nella Carta P.S.L. sono state individuate le seguenti zone :

- *Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta al rischio di frana.* L'individuazione delle zone Z1c è stata condotta con riferimento alla carta dei dissesti comunale vigente (adeguamento P.A.I.), inoltre al fine di aggiornare la cartografia si è fatto riferimento alla carta inventario delle frane e dei dissesti della Regione Lombardia.
- *Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.* Individuata con riferimento prevalente alle zonizzazioni riportate sulle Carte litologiche - geologiche geoambientali ed ai dati desunti da indagini geognostiche e ai dati esistenti in bibliografia corrisponde alle aree di fondovalle caratterizzate dalla presenza dei depositi alluvionali del Fiume Adda e dei suoi affluenti laterali.
- *Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre.* La metodologia condotta è la medesima di cui sopra e le zone individuate



comprendono le conoidi pedemontane delle principali incisioni torrentizie, talvolta in coalescenza tra loro. Sono individuate inoltre le falde detritiche localizzate in corrispondenza dei versanti.

- *Z4c – Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi.* Si presentano in forma estesa in corrispondenza dei versanti con spessori variabili tra pochi metri e alcune decine di metri. Lo spessore è stato stimato sulla base dei dati desunti dalle indagini geognostiche, dalla conoscenza dei luoghi e dalla bibliografia esistente .

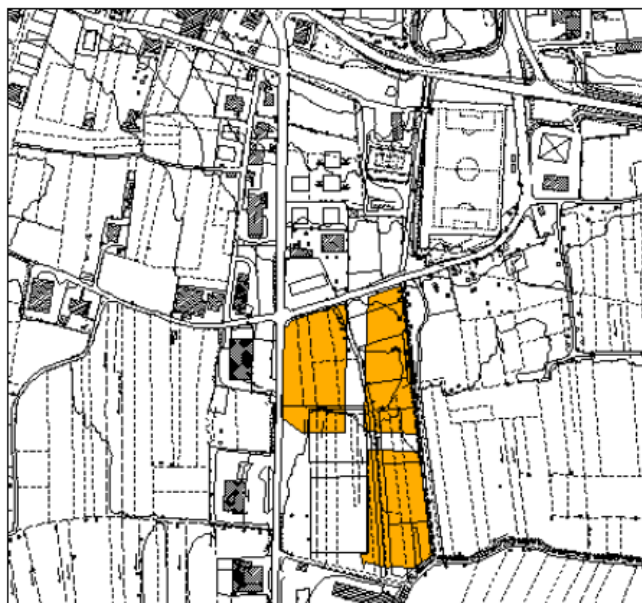
Non sono state individuate zone specifiche appartenenti agli scenari Z1a - Z1b – Z2 – Z3 - Z5.

Gli scenari Z1 e Z4 sono suscettibili di registrare effetti di amplificazione litologica.

4.2. APPROFONDIMENTO SISMICO DI 2° LIVELLO

Nel presente studio NON sono state effettuate analisi sismiche di 2° livello in quanto sono riportate a seguire le analisi di 2° livello effettuate dal Dott. Geol. Cameron a supporto dell'indagine geologica al PGT dell'anno 2009 .

“La caratterizzazione sismica di secondo livello è stata eseguita all'interno dei lotti appartenenti all'area evidenziata sullo stralcio della cartografia aerofotogrammetrica della Figura a seguire, in cui potrebbero essere costruiti edifici da considerare rilevanti ai sensi d.d.u.o. 21 novembre 2003 n. 19904.



– Area oggetto dell’approfondimento di secondo livello (limitatamente ai lotti non ancora edificati) – Scala 1:5.000

Come punto di partenza sono state eseguite due prove tipo MASW (denominate MASW 1 e MASW2) i cui risultati sono mostrati in allegato.

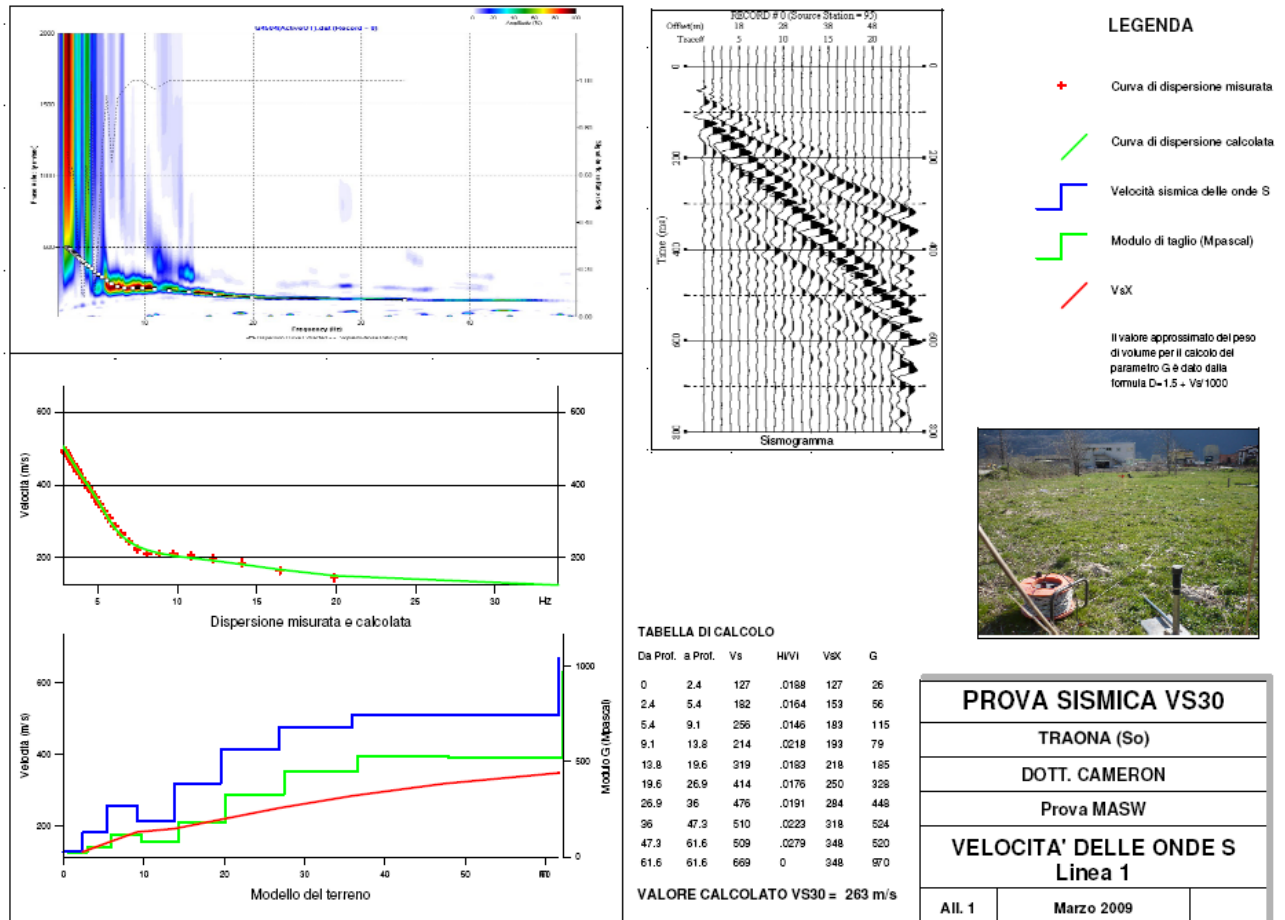
In entrambi i casi dal parametro VS30 si deduce che la categoria dei suoli – ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni – è la C (VS30 fra 180 e 360 m/s). L’area indagata rientra nello scenario di pericolosità sismica Z4b (vedi anche la Carta della pericolosità sismica locale) e andamento di VS con la profondità indica che, per la stima del fattore di amplificazione, sia più appropriato usare la scheda per la litologia sabbiosa di cui all’allegato 5 della d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374, pag. 41, e in particolare la curva 2. I massimi di tale curva corrispondono a un fattore di amplificazione $F_a = 1.7$ per edifici con periodo proprio fra 0.1 e 0.5 s e $F_a \cong 2.0$ per edifici con periodo proprio fra 0.5 e 1.5 s; le soglie critiche del fattore di amplificazione fornite dalla Regione Lombardia per la categoria dei suoli C sono riassunte nella seguente Tabella 1.

Tabella 1 - Soglie critiche del fattore di amplificazione

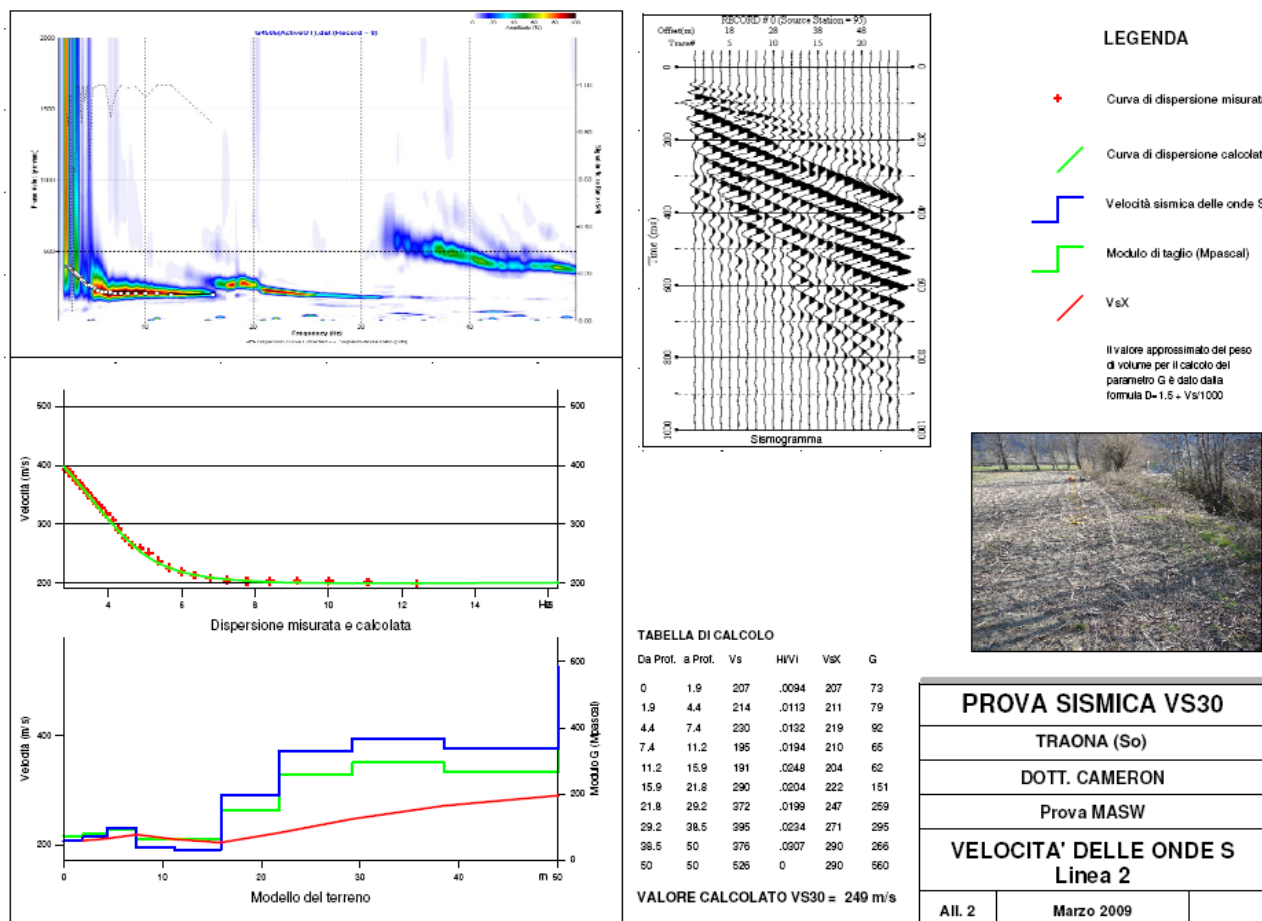
| Periodo proprio dell’edificio [s] | Soglia critica del fattore di amplificazione |
|--------------------------------------|--|
| 0.1 – 0.5 | 1.9 |
| 0.5 – 1.5 | 2.4 |



Si deduce che, anche aumentando di 0.1 il valore massimo possibile di Fa come previsto dalla normativa,2 esso rimane sotto le soglie della Tabella 1 e dunque la normativa nazionale è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e si applica lo spettro previsto dalla stessa normativa. “



Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12



Si rammenta che l'analisi sismica di 2° livello, trovandosi in **Comune di Traona in zona sismica 3**, è **OBBLIGATORIA** e dovrà essere condotta per le aree dove è prevista edificazione o intervento edificatorio all'interno delle zone perimetrate nella Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) come Z3 e Z4 .

Inoltre :

- per le aree in cui a seguito dell'analisi sismica di 2° livello il Fa calcolato > valore soglia comunale dovrà essere effettuata l'analisi sismica di 3° livello o in alternativa applicati i parametri sismici relativi alla categoria di sottosuolo inferiore e quindi maggiormente cautelativa ,
- per le aree che ricadono nelle zone perimetrate nella Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) come Z1 – Z2 – Z5 dovrà essere effettuata l'analisi sismica di 3° livello .



Premesso quanto sopra si forniscono a seguire i valori dei Fa forniti da Regione Lombardia per il territorio comunale in esame .

| Comune | Sottosuolo tipo B | Sottosuolo tipo C | Sottosuolo tipo D | Sottosuolo tipo E |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| TRAONA | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 2,0 |

Valori di soglia per il periodo T compreso tra 0.1-0.5 s

| Comune | Sottosuolo tipo B | Sottosuolo tipo C | Sottosuolo tipo D | Sottosuolo tipo E |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| TRAONA | 1,7 | 2,4 | 4,3 | 3,1 |

Valori di soglia per il periodo T compreso tra 0.5-1.5 s

Cercino, lì novembre 2016

Dr. Fabrizio Bigioli Geologo