# Vulnérabilité sismique des Monuments Historiques en Italie

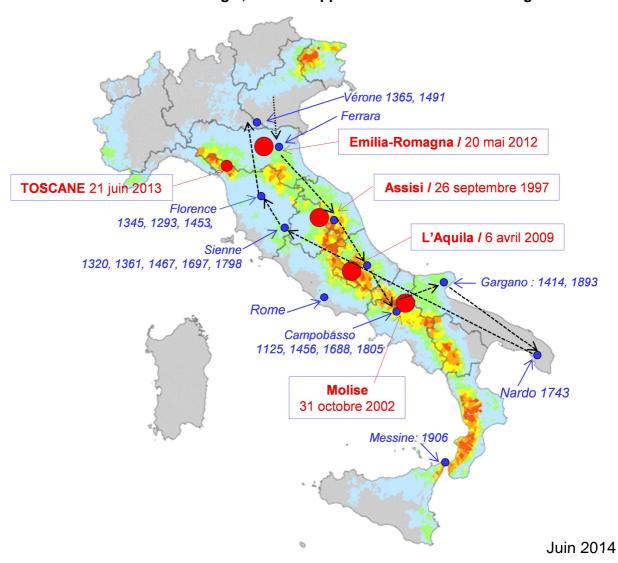
Volume I : Retour d'expérience, Sismicité de l'Italie,

Voyage d'étude, juillet — août 2013 Organisé par Dynamique Concept

## Avec le soutien du



Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie



## **Avertissement**

## Le rapport de la mission comporte quatre volumes :

- I. Retour d'expérience, Sismicité de l'Italie
- II. Emilia-Romagna, Assisi,
- III. L'Aquila
- IV. Molise, Puglia, Siena, Firenze, Verona

Une documentation considérable a été recueillie. Étant donné le nombre important des photos, la plupart ne sont pas commentées. Ce travail pourra se faire dans les éditions suivantes en fonction de la demande telle que présentations aux autorités nationales ou locales, conférences, cours, sessions de formation...

A ce-jour ce rapport doit être considéré comme un photomontage des lieux visités par la mission. Il est libre de toute diffusion.

Ces quatre volumes constituent la base du cours dispensé à l'Ecole de Chaillot de Paris :

Patrimoine en zone sismique - La Mémoire -

L'équipe tient à remercier les autorités françaises et italiennes pour leur soutien.

# Vulnérabilité sismique des Monuments Historiques en Italie

Voyage d'étude, juillet – août 2013

## Volume I

Retour d'expérience, Sismicité de l'Italie,

## Composition de la mission

- I. Objectifs de la mission
- II. Déroulement de la mission
- III. Entretien avec la « Direzione Regionale per i Bieni Culturali e Paesaggistici Bologna »
- IV. Vigili del Fuoco (Pompiers). La grande maîtrise de la gestion de l'urgence
  - IV-1 Le rôle des « Vigili del Fuoco »
  - IV-2 Historique
  - IV-3 Les premiers documents
  - IV-4 Mise en sécurité
  - IV-5 Sauvetage du patrimoine et des archives
- V. Documents techniques italiens sur le risque sismique et le patrimoine culturel
  - V-1 Lignes-Guide : Evaluation et la réduction du risque sismique du patrimoine culturel
  - V-2 Fiches de Relevé de dommages
  - V-3 Manuel "STOP" d'intervention technique urgente en situation sismique
- VI. Les leçons architecturales de la mission (voyage d'étude)
  - VI-1 L'intérêt d'une telle mission
  - VI-2 Forces et faiblesses
  - VI-3 Impérieuses réglementations ou culture partagée ?

## VII. Retour d'expérience

- VII-1. Les séquences d'endommagement : causes et conséquences
- VII-2. Conclusions

### VIII. Etudes de cas de réparation-renforcement

- VIII-1 Renforcement général
- VIII-2 Reprise en sous-œuvre et stabilisation générale
- VIII-3 Précontrainte additionnelle
- VIII-4 Renforcement des voûtes
- VIII-5 Introduction des chaînages horizontaux
- VIII-6 Béton projet
- VIII-7 Réparation Renforcement des éléments décoratifs

## Sommaire 2<sup>ème</sup> partie

### 1. SISMICITE de l'ITALIE

- 1.1 Sismicité historique
- 1.2 Sismicité règlementaire

# **Volume II**

# Emilia-Romagna, Assisi, L'Aquila

## 2. EMILIA-ROMAGNA (séisme du 20 mai 2012)

- 2.1 Sismicité historique
- 2.2 Le bilan du séisme du 20 mai 2012

#### 2.3 FERRARA

- 2.3.1 Cathédrale
- 2.3.2 Palais ducal
- 2.3.3 Centro storico

## 2.4 PIEVE DI CENTO

- 2.4.1 Chiesa des SS. Rocco e Sebastiano
- 2.4.2 Duomo Santa Maria Maggiore
- 2.4.3 Centro storico

#### **2.5 CENTO**

- 2.5.1 Chiesa dei Rosario
- 2.5.2 Collegiata di San Biagio
- 2.5.3 Chiesa San Filipo
- 2.5.4 Municipio
- 2.5.5 Palazzo del Governatore, Piazza del Guecino
- 2.5.6 Chiesa San Pietro
- 2.5.7 Centro storico
- 2.5.8 Teatro comunale

## 2.6 BUONA COMPRA

2.6.1 Chiesa San Martino

#### 2.7 SAN AGOSTINO

- 2.7.1 Chiesa Sant'Agostiono
- 2.7.2 Municipio

## 2.8 MIRABELLO

2.8.1 Chiesa San Paolo

#### 2.9 MIRANDOLA

- 2.9.1 Chiesa San Francisco
- 2.9.2 Municipio
- 2.9.3 Duomo Santo Maria Maggiore
- 2.9.4 Castello de Pico de la Mirandola
- 2.9.5 Chiesa de Gesu
- 2.9.6 Scuola « Don Ricardo Adani », renforcement

### 2.10 VALALTA

2.10.1 Maison de Maître

## 2.11 CONCORDIA SULLA SECCHIA

- 2.11.1 Cimetière
- 2.11.2 Maison de maître

#### 2.12 LA PIEVE DI QUARANTOLI

2.12.1 Chiesa Santa Maria de la Neve

### 2.13 SAN FELICE SUL PANARO

2.13.1 Castello Rocco di San Felice

#### 2.14 MASSA FINALESE

2.14.1 Chiesa di San Geminiano

### 2.15 CASUMARO

2.15.1 Chiesa di San Lorenzo

#### 2.16 RENO FINALESE

2.16.1 Chiesa Beato Ferdinando Maria Baccilieri

#### 2.17 FINALE EMILIA

- 2.17.1 Palazzo Borsari
- 2.17.2 Centro storico
- 2.17.3 Chiesa San Antonio
- 2.17.4 Castello delle Rocche
- 2.17.5 Chiesa San Francisco di Assisi
- 2.17.6 Teatro sociale
- 2.17.7 Torre del Orologio
- 2.17.8 Chiesa del Rosario
- 2.17.9 Chiesa del Seminario « intacte »

### 3. ASSISI – UMBRIA (séisme du 26 septembre 1997)

- 8.1 Sismicité historique
- 8.2 Le bilan du séisme du 26 septembre 1997
- 8.3 BASILICA DI SAN FRANCESCO
- **8.4 CENTRO STORICO**

# **Volume III**

# L'Aquila

## 4. L'AQUILA – ABRUZZO (séisme du 6 avril 2009)

## 4.1 Sismicité historique

#### 4.2 L'AQUILA

- 4.2.1 Basilica Santa Maria di Collemaggio
- 4.2.2 Duomo

## 4.2.3 Chiesa Santa Maria del Suffragio

- 4.2.3.1 Travaux de mise en sécurité réalisés par Vigli del Fuoco
- 4.2.3.2 Photos Dynamique Concept
- 4.2.3.3 Restauration de l'église Santa Maria del Suffragio
- 4.2.4 Chiesa San Biaggio
- 4.2.5 Chiesa di San Marco
- 4.2.6 Chiesa di Sant'Agostino
- 4.2.7 Palazzo d'Armi
- 4.2.8 Basilica e Convento San Bernardino da Siena
- 4.2.9 Teatro Comunale dell'Aquila
- 4.2.10 Castello dell'Aquila / Fortezza Spagnola
- 4.2.11 Chiesa Santa Maria di Paganica
- 4.2.12 Palazzo Ardinghelli
- 4.2.13 Palazzo Baroncelli-Capardi Tossio
- 4.2.14 Chiesa Giusta di Bazzano
- 4.2.15 Palazzo Centi Presidenza della Regione Abruzzo
- 4.2.16 Palazzo Madama Margherita, Siège de la commune
- 4.2.17 Palazzo Alferi
- 4.2.18 Basilica di Santa Giusta
- 4.2.19 Chiesa di San Francesco di Paola
- 4.2.20 Chiesa S. Nicandro e Marciano
- 4.2.21 Chiesa Santa Maria di Roio
- 4.2.22 Palazzo Persichetti
- 4.2.23 Palazzo Rivera
- 4.2.24 Chiesa di San Domenico
- 4.2.25 Chiesa San Petro di Sassa
- 4.2.26 Chiesa San Pietro di Coppito
- 4.2.27 Chiesa di San Silvestro
- 4.2.28 Chiesa dei Bernabiti
- 4.2.29 Chiesa Costa Picenze
- 4.2.30 Chiesa di San Flaviano
- 4.2.31 Palazzo Gagliardi-Sardi
- 4.2.32 Chiesa di Santa Margherita
- 4.2.33 Palazzo Margherita "Dei Nobili"
- 4.2.34 Palazzo Quinzi
- 4.2.35 Palazzo Spaventa
- 4.2.36 Chiesa dell'Annunziata
- 4.2.37 Chiesa Santa Maria della Misericordia
- 4.2.38 Monastero di San Basilio
- 4.2.39 Centro storico
- 4.2.40 « Renforcements » par isolateurs sismiques
- 4.2.41 Constructions nouvelles sur isolateurs sismiques
- 4.2.42 Divers bâtiments
- 4.2.43 Monastère di Beata Antonia

## 4.3 POGGIO DI RIO

4.3.1 Chiesa Maria delle Reparazione

#### 4.4 SANTA RUFINA

- 4.4.1 Chiesa San Marciano e Nicandro
- 4.4.2 Chiesa route d'Onna

#### **4.5 ONNA**

- 4.5.1 Chiesa di Sant'Anna
- 4.5.2 Chiesa Parrochiale

- 4.5.3 Chiesa di San Giovani
- 4.5.4 Chiesa San Pietro

## Volume IV

# Molise, Puglia, Siena, Firenze, Verona

## 5. MOLISE (séisme du 31 octobre 2002)

- 5.1 Sismicité historique
- 5.2 Le bilan du séisme du 31 octobre 2002

#### 5.3 LARINO

- 5.3.1 Chiesa di San Stefano
- 5.3.2 Palazzo Ducale
- 5.3.3 Chiesa di Franceso
- 5.3.4 Basilica San Pardo
- 5.3.5 Chiesa Santa Maria
- 5.3.6 Centro storico

### **5.4 CASACALENDA**

- 5.4.1 Chiesa Adolorata
- 5.4.2 Palazzo Ducale
- 5.4.3 Capella Santa Maria Maggiore
- 5.4.4 Palazzo « casa Franceschini-Filipponi »

#### **5.5 RIPABOTTONI**

- 5.5.1 Maison de maître
- 5.5.2 Chiesa San Gerardo Maiella
- 5.5.3 Chiesa Santa Maria Assunta
- 5.5.4 Palazzo Ducale

#### **5.6 CASTELLINO DEL BIFERNO**

- 5.6.1 Chiesa di San Pietro
- 5.6.2 Capella San Pio da Pietrelcina
- 5.6.3 Complexe moderne « Complesso Scolastico Antisismico »

## **5.7 CASTELLINO NUOVO**

5.7.1 Chiesa di Sacro Cuore

#### **5.8 SAN GIULIANO DI PUGLIA**

- 5.8.1 Palazzo comunale
- 5.8.2 Chiesa San Giuliano Martire
- 5.8.3 Scuola nuova ; emplacement de l'ancienne école

#### **5.9 COLLETORTO**

- 5.9.1 Chiesa del Convento San Alfonso di Liguri
- 5.9.2 Chiesa San Giovanni Battista
- 5.9.3 Torre Anjloina et château du moyen âge
- 5.9.4 Chiesa del Purgatorio
- 5.9.5 Centro Storico

#### 5.10 BONEFRO

- 5.10.1 Chiesa San Nicola
- 5.10.2 Chiesa Santa Maria Delle Rose
- 5.10.3 Centro Storico

### **5.11 RIPOLIMOSANI**

- 5.11.1 Chiesa San Michele
- 5.11.2 Centro Storico

# 6. PUGLIA (Les Pouilles)

6.1 Sismicité historique

#### 6.2 SAN GIOVANNI ROTONDO

- 6.2.1 Chiesa Madona delle Grazie
- 6.2.2 Chiesa San Pio (Renzo Piano)

#### 6.3 MONTE SANT'ANGELO

- 6.3.1 Castello
- 6.3.2 Santuario San Michele
- 6.3.3 Chiesa San Michele
- 6.3.4 Tomba di Rotari

#### 6.4 LOCOROTONDO

- 6.4.1 Chiesa San Giorgio Martire
- 6.4.2 Chiesa Santa Maria la Greca
- 6.4.3 Chiesa Santa Maria Immacolata
- 6.4.4 Chiesa Setti Dolori
- 6.4.5 Centro Storico

### 6.5 MARTINA FRANCA

- 6.5.1 Cathédrale San Martiino
- 6.5.2 Centro storico

## 6.6 ALBEROBELLO

- 6.6.1 Chiesa di Trullo « Sant'Antonio »
- 6.6.2 Centro storico

#### 6.7 LECCE

- 6.7.1 Chiesa Santa Maria della Grazia
- 6.7.2 Duomo et Campanile
- 6.7.3 Chiesa Sant'Irene
- 6.7.4 Chiesa Santa Teresa
- 6.7.5 Theatro Romano
- 6.7.6 Chiesa di San Giovani Battista
- 6.7.7 Chiesa del Gesu (ou) del Buon Consiglio
- 6.7.8 Basilica Santa Croce
- 6.7.9 Centro Storico

## 6.8 GALLIPOLI

- 6.8.1 Cattedrale Sant'Agata
- 6.8.2 Centro storico

#### 6.9 NARDO

- 6.9.1 Cattedrale Maria SS. Assunta
- 6.9.2 Chiesa Santa Maria de Raccomondatis
- 6.9.3 Delle'Immacolata Concezione
- 6.9.4 Centro storico

## 7. SIENA (SIENNE)

- 7.1 Sismicité historique
- 7.2 Duomo
- 7.3 Basilica di San Domenico
- 7.4 Chiesa di San Donato
- 7.5 Centro storico

## 8. FIRENZE (FLORENCE)

- 8.1 Sismicité historique
- 8.2 Duomo
- 8.3 Basilica di San Miniato al Monte
- 8.4 Chiesa San Stefano
- 8.5 Chiesa e Convento di Santa Maria Novella
- 8.6 Chiesa Santa Croce
- 8.7 Centro storico

### 9. VERONA

- 9.1 Sismicité historique
- 9.2 Les Arènes
- 9.3 Chiesa Santa Anastasia
- 9.4 Cattedrale di Verona
- 9.5 Centro storico

## Composition de l'équipe de la mission **DYNAMIQUE CONCEPT** :

- Victor DAVIDOVICI, membre associé du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (C.G.E.D.D.); Président d'Honneur de l'Association Française de Génie Parasismique AFPS, Responsable de la mission, victor.davidovici@dynaco.fr
- 2. **André LAURENTI**, Ville de Cagnes-sur-Mer membre du Groupe A.P.S ; Auteur du site <a href="www.azurseisme.com">www.azurseisme.com</a> ; sismicité historique, géotechnique, effet de site, <a href="mailto:alaurenti@azurseisme.com">alaurenti@azurseisme.com</a>
- 3. **Marc GIVRY**, Architecte Grenoble, Membre de l'Association Française de Génie Parasismique AFPS ; réhabilitation renforcement, vulnérabilité, <a href="marc-givry-afps@architectes.org">marc-givry-afps@architectes.org</a>
- 4. **Jean DUMAS**, Architecte Paris, monuments historiques, histoire, vulnérabilité, dumarchi@wanadoo.fr
- 5. **Agostino MARIONI**, ALGA FREYSSINET, réhabilitation renforcement, isolateurs sismiques, marioniagostino@gmail.com
- 6. **Marco BANFI**, ALGA FREYSSINET, réhabilitation renforcement, isolateurs sismiques, <u>marco7b@hotmail.it</u>

# I. Objectifs de la mission

Face à l'interrogation sur le comportement et la sauvegarde des biens historiques (monuments, centres historiques...) en cas de tremblement de terre en France, le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie / Conseil Général de l'Environnement et du Développement durable a décidé de soutenir une mission d'étude sur la vulnérabilité sismique des monuments historiques en Italie, pays qui connaît régulièrement des événements sismiques dévastateurs.

On se devait donc de présenter aux autorités françaises un état des lieux, forcément incomplet, à partir de visites organisées dans des régions et villes d'Italie récemment ou historiquement particulièrement touchées par des séismes importants.

L'objectif de la mission est d'identifier la démarche italienne pour sauvegarder les sites historiques endommagés, afin de conserver la mémoire des lieux, d'analyser comment les autorités italiennes ont géré la situation après séisme, les dispositions prises pour la sauvegarde immédiate et la préservation ultérieure, et s'en inspirer pour compléter la démarche de préservation des Monuments Historiques en France dans un contexte qui présente des analogies.

Ces dispositions pourront être intégrées, programmées dans le cadre des travaux de réhabilitation des MH.

L'objectif principal de cette mission est d'analyser, d'appréhender, l'expérience italienne et ceci dans les quatre situations suivantes :

- i. Prévention : recensement des monuments et de leur vulnérabilité sismique ; solutions de renforcement sismique lors des travaux de réhabilitation du MH
- ii. Urgence : relevé des dommages après séisme ;
- iii. Post-urgence : sécurisation des monuments et propositions de renforcement ;
- iv. Reconstruction : choix de solution optimale pour le renforcement.

Pour chaque MH visité, nous proposons de mettre en exergue :

- les causes (scénarios) de l'endommagement effondrement,
- les dispositions qui auraient permis d'éviter ces endommagements,
- les procédures de réparation / renforcement à partir des technologies existantes.

Les monuments historiques visités se situent dans cinq régions :

- Emilie-Romagne (séismes des 20 et 29 mai 2012),
- Assise, essentiellement la basilique Saint-François (séisme du 26 septembre 1997),
- L'Aquila (séisme du 6 avril 2009) : le centre historique vidé de tous ses occupants (environ 50.000 personnes). On y visitera aussi l'ensemble des

## Vulnérabilité sismique des Monuments Historiques

11 / 98

Voyage d'étude - Italie / juillet – août 2013

Volume I : Retour d'expérience, Sismicité de l'Italie

- bâtiments réhabilités par mise en œuvre d'isolateurs sismiques de type « pendulaire ».
- Molise / San Giuliano di Puglia (séisme du 31 octobre 2002) ; effondrement d'une école causant 27 victimes dont 26 enfants.
- Les Pouilles avec de nombreux MH endommagés au cours de l'histoire.

De plus, des monuments historiques des trois villes suivantes ont fait l'objet de visites détaillées : Sienne, Florence et Vérone.

## II. Déroulement de la mission

## **II-1 Remerciements**

Nous tenons à remercier la société Freyssinet qui nous a aidés à préparer la mission avec la participation active d'**Agostino MARIONI** (ALGA – FREYSSINET). Par ailleurs, nous remercions **Frederick DUCHOSAL** (Freyssinet) pour la mise à disposition de leur retour d'expérience dans la réhabilitation des Monuments Historiques en France.

La visite de la région d'Emilia Romagna a été facilitée grâce à :

- Romano Camassi : Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V. Genova)
- ➤ Andrea Sardo : architetto Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Emilia-Romagna (Bologna).
- Antonio Libro : architetto Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Emilia-Romagna (Bologna).
- > Agostino Marioni : société ALGA FREYSSINET Milano.
- ➤ **Giulio Goldoni** : responsable technique de chantier d'une entreprise de restauration (Mirandola).
- ➤ Paolo Maffei : responsable technique de chantier d'une entreprise de restauration (Mirandola).
- Silvio Benedetti Vigili del fuoco.

La visite détaillée de la Basilique de Saint François d'Assise a été possible grâce à la disponibilité totale de son conservateur ; **Sergio FUSETTI**. Qu'il en soit remercié.

A l'Aquila, **Giuseppe ZATTONI** (entreprise CONSTA) nous a permis d'assister en direct au levage d'un bâtiment de six étages lors de l'introduction d'isolateurs sismiques de type ALGA.

A San Giuliano di Puglia (Molise), le maire, le curé – qui a accompagné la visite de San Giuliano Martire, expliqué et commenté les travaux de restauration -, et la police municipale nous ont grandement facilité la visite détaillée de la ville.

# II-2 Déroulement chronologique

## II-2.1 Emilia-Romagna

## → Dimanche 14 juillet 2013

Briefing en début d'après-midi du groupe de travail à l'hôtel de Ferrara.

Visite du centre historique de Ferrara : Castello Estense, cathédrale San Giorgio.

## → Lundi 15 juillet 2013

- Rencontre avec Andrea Sardo et Antonio Libro, architectes à la « Direzione Regionale per i Beni Culturali e paesaggistici dell'Emilia Romagna » à Bologna.
- Visite de Pieve di Cento (province de Bologna) : église de S.S. Rocco e Sebastiano XVe et l'église Santa Maria Maggiore 1207 reconstruite 1702-1710 – campanile 48 m.
- Visite de Cento (province de Ferrara) : église del Rosario 1633-45, église di San Filippo XVIII, Théâtre communal 1856-61, Collegiata di San Biagio IXe révisée de 1730 à 1745.
- Visite de Buonacompra (province de Ferrara) : église de San Martino XVIe siècle et campanile.
- Visite de Sant-Agostino (province de Ferrara) : église Sant-Agostino XVIe et la Mairie.
- Visite de San Carlo et Mirabello (province de Ferrara) : église de San Paolo XVIIIe.
- Rencontre avec Agostino Marioni société ALGA à Milan
- Présentation des systèmes d'isolation sismique par Agostino Marioni.

## → Mardi 16 juillet 2013

- Rencontre avec Giulio Goldoni et Paolo Maffei, Entreprise MAFFEI de restauration à Mirandola (province de Modena). Visite de la ville el leur compagnie.
- Visite de l'église de San Francesco di Assisi XIII et XVe à Mirandola.
- Visite du Duomo, église paroissiale Santa Maria Maggiore (1440-1470) à Mirandola.
- Visite de l'école maternelle Don Riccardo Adani à Mirandola.
- Visite de Concordia sulla Secchia (province de Modena) : cimetière.
- Visite d'un château privé à Vallalta (province de Modena).
- Visite de Quarantoli (province de Modena) : l'église paroissiale de Quarantoli IXe reconstruite au XIIe.
- Visite de Massa Finalese (province de Massa) : église Santi Geminiani.
- Visite de San Felice sul Panaro (province de Modena) : palais la Rocca Estense.
- Visite de Finale Emilia : 1ère visite (voir ci-dessous).

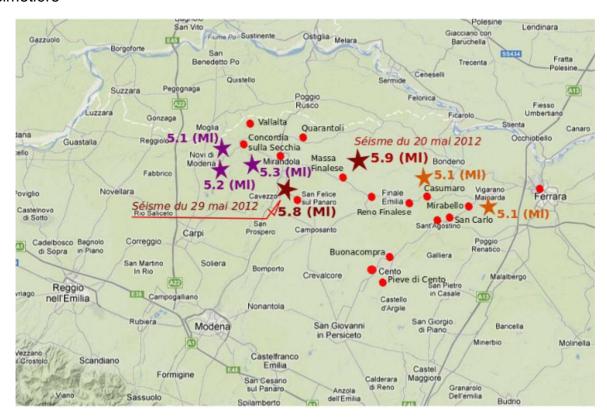
## → Mercredi 17 juillet 2013

- ➤ Visite de la localité de Casumaro (province de Ferrara) : église de San Lorenzo du XVe, partiellement refaite aux XVIII et XIXe.
- Visite de la localité de Reno Finalese (province de Modana) : église de la Visitazione di Maria Santissima, campanile de 38 m.

Visite de Finale Emilia (province de Modena): églises San Antonio, San Francesco d'Assisi, del Rosario et del Seminario, Théâtre, Tour de l'Horloge, Castello delle Rocche.

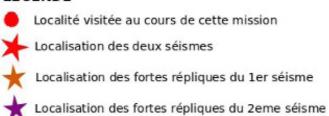
Au cours de cette mission, nous nous sommes rendus dans seize localités (voir figure ci-dessous), réparties sur trois provinces : Modena, Ferrara et Bologna de la région d'Emilia-Romagna, toutes affectées par les tremblements de terre des 20 et 29 mai 2012.

Nous avons visité au total 19 églises, 5 châteaux, 2 théâtres, 1 école, 1 mairie et 1 cimetière



Séisme d'Emilia-Romagna du 20 et 29 mai 2012 Mission de Dynamique Concept, juillet – aout 2013 Carte établie par André LAURENTI

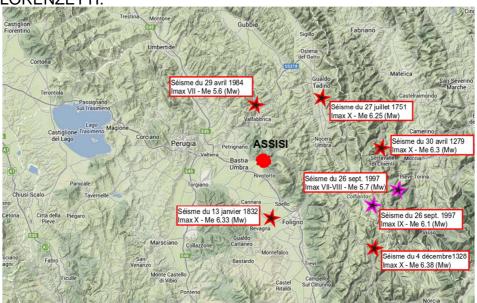
## **LEGENDE**



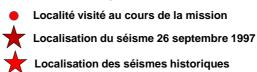
## II-2.2 Basilique Saint-François d'Assisi

## → Jeudi 18 juillet 2013

- Départ pour Assisi
- Visite de la Basilique Saint François d'Assisi avec Sergio FUSETTI en charge de la restauration de la Basilique et des fresques de CIMABUE, GIOTTO et LORENZETTI.



Séisme d'Assisi du 26 septembre 1997 et sismicité historique Mission de Dynamique Concept, juillet – aout 2013 Carte établie par André Laurenti



## II-2.3 L'Aquila et ses environs

## → Vendredi 19 juillet 2013

- Visite à L'Aquila du chantier du Tribunal : isolation sismique pendulaire.
- Constructions nouvelles sur isolateurs sismigues C.A.S.E.

## → Samedi 20 juillet 2013

Visite de L'Aquila: Basilica Santa Maria di Collemaggio, Duomo, Chiesa Santa Maria del Suffragio, Chiesa San Biaggio, Chiesa di San Marco, Chiesa di Sant'Agostino, Palazzo d'Armi, Basilica e Convento San Bernardino da Siena, Teatro Comunale dell'Aquila, Castello dell'Aquila, Chiesa Santa Maria di Paganica, Palazzo Ardinghelli, Palazzo Baroncelli-Capardi Tossio, Palazzo del Palesto, Chiesa Giusta di Bazzano, Palazzo Centi – Presidenza della Regione Abruzzo, Fontana, Palazzo Alferi, Palazzo Marinacci, Chiesa di San

Francesco di Paola, Chiesa S. Nicandro e Marciano, Chiesa Santa Maria di Roio.

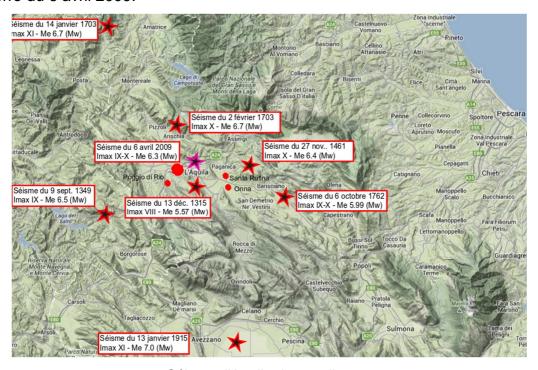
## → Dimanche 21 juillet 2013

- Visite de L'Aquila: Chiesa dei Bernabiti, Chiesa Costa Picenze, Chiesa di San Flaviano, Palazzo Persichetti, Palazzo Rivera, Chiesa di San Domenico, Chiesa San Petro di Sassa, Chiesa San Pietro di Coppito, Chiesa di San Silvestro.
- Visite de Poggio di Rio : Chiesa Maria delle Reparazione.
- Visite de Santa Rufina : Chiesa San Marciano e Nicandro, Chiesa route d'Onna.
- Visite d'Onna : Chiesa di Sant'Anna, Chiesa Parrochiale, Chiesa di San Giovani, Chiesa San Pietro.

## → Lundi 22 juillet 2013

➤ Visite de L'Aquila : Palazzo Gagliardi-Sardi, Chiesa di Santa Margherita, Palazzo Margherita "Dei Nobili", Palazzo Quinzi Palazzo Sparenta, Chiesa dell'Annunziata, Chiesa della Misericordia, Chiesa San Amico, Monastero di San Basilio, chantier CONSTA « renforcements » par isolateurs sismiques.

Finalement nous avons visité 47 monuments historiques à L'Aquila et trois localités proches de l'épicentre (voir figure ci-dessous), toutes affectées par les tremblements de terre du 6 avril 2009.



Séisme d'Aquila du 9 avril 2009

Mission de Dynamique Concept, juillet – aout 2013 Carte établie par André Laurenti

Localité visité au cours de la mission

Localisation du séisme 6 avril 2009

Localisation des séismes historiques

## II-2.4 Molise

## → Mardi 23 juillet 2013

- Visite de San Giuliano di Puglia : Nouvelle école sur isolateurs sismiques, lieu de mémoire de l'ancienne école, l'Eglise San Giuliano Martire, Palazzo comunale.
- Visite de Larino : Chiesa di San Stefano, Palazzo Ducale, Chiesa di Franceso, Basilica San Pardo, Chiesa Santa Maria
- Visite de Casacalenda : Chiesa Adolorata, Palazzo Ducale, Capella Santa Maria Maggiore, Palazzo « casa Franceschini-Filipponi »

## → Mercredi 24 juillet 2013

- Visite de Ripabottoni : Chiesa San Gerardo Maielle, Chiesa Santa Maria Assunta, Palazzo Ducale.
- Visite de Castellino del Biferno : Chiesa di San Pietro, Capella San Pio da Pietrelcina.
- Visite de Castellino Nuovo : Chiesa di Sacro Cuore.

## → Jeudi 25 juillet 2013

- Visite de Colletorto: Chiesa del Convento San Alfonso di Liguri, Chiesa San Giovanni Battista, Torre Anjloina et château du moyen âge, Chiesa del Purgatorio.
- Visite de Bonefro : Chiesa San Nicola, Chiesa Santa Maria Delle Rose.
- Visite de Ripolimosani : Chiesa San Michele, Campanile, Palazzo.

Au cours de cette mission, nous nous sommes rendus dans neuf localités (voir figure ci-dessous), toutes affectées par les tremblements de terre du 31 octobre 2002. Nous avons visité au total 20 églises, 8 châteaux et 1 école.

Séisme de Molise, 31 octobre 2002 Mission de Dynamique Concept, Juillet – aout 2013 Carte établie par André LAURENTI

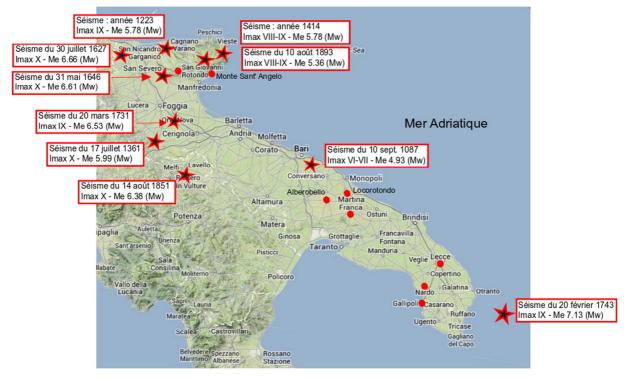
#### LEGENDE

Localité visitée au cours de cette mission
 Localisation du séisme

Localisation des fortes répliques



## II-2.5 Puglia



Séismes historiques de Puglia

Mission de Dynamique Concept, juillet - aout 2013

Carte établie par André LAURENTI



Localisation des séismes historiques

Localités visités au cours de la mission

## → Vendredi 26 juillet 2013

- Visite de San Giovanni Rotondo: Chiesa Madona delle Grazie, Chiesa Santa Maria delle Grazie, Chiesa San Pio (construite par Renzo Piano).
- ➤ Visite de Monte Sant'Angelo : Castello, Chiesa San Michele, Battistero San Pietro, Chiesa Santa Maria Maggiore.

## → Samedi 27 juillet 2013

- Visite de Locorotondo : Chiesa San Giorgio Martire, Palazzo Morelli, Chiesa Santa Maria la Greca,
- Visite de Martina Franca: Chiesa Maria Immacolata, Cathédrale San Martino, Chiesa San Domenico. Centro storico: Palazzi Fanellli-Torricelle, Plazzo Magli, Palmazo Motolese, Palazo Maggi.

## → Dimanche 28 juillet 2013

 Visite de Alberobello : Basilica Dei SS. Cosma e Damiano, Chiesa di Trullo « Sant'Antonio », Centro storico.

## → Lundi 29 juillet 2013

Visite de Lecce : Chiesa Del Rosario, Palazzo Episcopale, Duomo et Campanile, Chiesa Sant'Irene, Chiesa San Marco, Theatro Romano, Chiesa di San Francisco d'Assisi (ou) della Scarpa, Chiesa del Gesu (ou) del Buon Consiglio, Chiesa Santa Croce, Castello, Chiesa San Mateo.

## → Mardi 30 juillet 2013

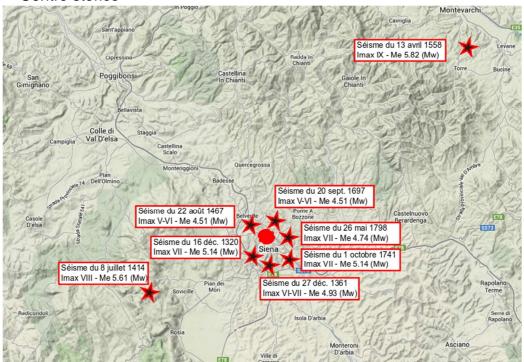
- Visite de Gallipoli : Château, Cattedrale Sant'Agata, Centro storico.
- Visite de Nardo : Cathedrale Maria SS. Assunta, Centro storico.

Au cours de cette mission, nous nous sommes rendus dans huit localités et visité au total 24 églises et 7 châteaux.

#### II-2.6 Siena

### → Dimanche 4 août 2013

Visite de : Duomo, Basilica di San Domenico, Chiesa di San Domenico, Centro storico



Séismes historiques de Siena Mission de Dynamique Concept, juillet – aout 2013 Carte établie par André LAURENTI

Localité visité au cours de la mission

Localisation des séismes historiques

## II-2.7 Firenze

### → Mercredi 7 août 2013

Visite de : Duomo, Basilica di San Miniato al Monte, Chiesa San Stefano

## → Jeudi 8 août 2013

➤ Visite de : Chiesa e Convento di Santa Maria Novella, Chiesa Santa Croce, Centro storico.



Séismes historiques de Firenze Mission de Dynamique Concept, juillet – aout 2013 Carte établie par André LAURENTI

Localité visité au cours de la mission

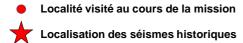
Localisation des séismes historiques

#### II-2.8 Verona

### → Samedi 10 août 2013

Visite de : Les Arènes, Chiesa Santa Anastasia, Catedrale di Verona, Centro storico

Séismes historiques de Verona Mission de Dynamique Concept, Juillet – aout 2013 Carte établie par André LAURENTI





# III. Entretien avec la « Direzione Regionale per i Bieni Culturali e Paesaggistici – Bologna »

Les enseignements et le retour d'expérience que nous avons recueillis à Bologne lors de l'entretien à la Direction Regionale per i Bieni Culturali, (Superintendant Carla di Francesca) pour la région d'Emilie-Romagne sont parfaitement transposables aux autres sites visités en Italie et par-delà en France.

Nous avons été recus par Andrea Sardo et Antonino Libre, architectes.

Andrea Sardo explique le cadre des lois italiennes en matière de gestion du risque sismique. La législation italienne n'a commencé à s'en préoccuper qu'à partir de 1980 et surtout après le séisme de San Giuliano di Puglia.

Depuis, la loi oblige les propriétaires à procéder à un recensement des lieux stratégiques (hôpitaux, écoles, bâtiments publics...). S'ensuit une hiérarchisation selon leur degré de fréquentation.

Un diagnostic sismique est obligatoire et codifié par la loi, avec un processus à suivre (cf Directive de la Présidence du Conseil des ministres OPCM 32 74 de 2003).

Pour le patrimoine culturel, « des lignes guides » ont été rédigées.

Voyage d'étude - Italie / juillet – août 2013 Volume I : Retour d'expérience, Sismicité de l'Italie

Elles permettent de vérifier la vulnérabilité sismique et de tracer les lignes des projets susceptibles d'améliorer l'existant (cf. § V). Elles prévoient 3 niveaux de vérification avec des critères de choix liés à la stratégie, aux priorités, à l'urgence quant aux décisions de réhabilitation à prendre : LV1, LV2, LV3 ; LV1 étant un niveau de vérification générale qui détermine les paramètres de références qui débouchent ensuite sur les deux autres niveaux. A partir du chapitre 6, on y développe de façon importante ce qui concerne l'évaluation.

## La gestion de l'urgence suite au séisme de 20 mai 2012.

- a) Un problème initial: l'Emilie Romagne n'était pas considérée comme sismique! on n'y appliquait donc pas la loi, même si cela aurait dû être le cas depuis 1980. On avait oublié les séismes du passé (notamment celui de 1570 qui avait connu des répliques pendant 4 ans...); les catalogues existaient, mais personne n'y prêtait attention. De plus, aucune sanction n'était appliquée. Le bâti était donc conçu sur un principe « statique » et non « dynamique ».
  - Les principales victimes ont été des ouvriers sur les chantiers, de jour, lors du 2ème séisme du 29 mai.
- b) Les actions mises en œuvre : 47 maires impliqués, 4 provinces, 5 diocèses, 3 régions : Emilie Romagne, Lombardie, Vénétie.
- c) Une gestion très compliquée, surtout sur le plan administratif pour coordonner l'ensemble : nombreuses administrations impliquées et sans préparation initiale. La gestion des biens culturels et historiques en Italie diffère de celle de la France. Le système de classement n'est pas direct. Pour la propriété publique ou parapublique, il suffit qu'un bâtiment ait plus de 75 ans pour être classé ou pour relever du ministère de la Culture.
  - Un bâtiment privé reste privé, et sans protection du ministère. De plus, les biens culturels dépendent de trois maîtres d'ouvrage différents : soit des biens culturels, soit de l'état lui-même, soit du diocèse (pour la plupart des églises (Vatican).

Le superintendant a compétence sur les secteurs suivants : Architecture, Objets d'art, Archéologie, Archives, Territorialité.

Il a fallu coordonner toutes les superintendances impliquées.

- > nombre d'appels pendant toute cette période de séisme : 4 240
- ➤ 2022 biens culturels concernés (terme ambigu, car on a à faire à des biens complexes : église/clocher, palais/couvent).
- Difficulté pour gérer et coordonner toute la masse d'informations affluant, pour identifier les lieux, les données type base de données «Access ».

Une cartographie des monuments privés et publics a été réalisée. Aujourd'hui, ils disposent d'une liste exhaustive de tout le patrimoine culturel antérieur à 75 ans, ce qui représente un an de travail et n'est pas encore totalement fini...

Une aide des autorités de Rome, attendue et annoncée, n'est jamais venue.

- La « Direzione Regionale per i Bieni Culturali » a dû improviser. La mission a commencé officiellement le 19 juin 2012.
  - > 52 semaines de travail, et toujours en cours.
  - ➤ 824 équipes intégrant 98 fonctionnaires techniques du ministère.
  - 1212 complexes touchés ont été relevés, dont en moyenne 6 par jour ;
  - > 70 000 photos ont été prises : reportages, vidéo sur la base d'une fiche technique.
  - > 1 300 œuvres d'art ont été stockées à Sassuelo pour restauration ultérieure.
  - Un relevé systématique des dégâts, avec un paramètre des dommages le plus objectif possible;
  - Un recours organisationnel : les UCR (unités de Crise Régionale), présentes dans toutes les régions italiennes au sein de chaque conseil régional.
  - Un point important : il faut que le travail soit fait le plus vite et le plus objectivement possible.
  - Coût pour le Patrimoine culturel : 1 milliard d'euros.

## La protection civile en Italie :

- Département spécifique qui dépend de la Présidence du Conseil et prend le pouvoir pendant 2 mois pour diriger les opérations.
- ➤ Chaque équipe travaille 2 semaines, sur la base d'une feuille de route précise, avec fiches, photos à l'appui.

## Quels ont été les critères pour déterminer l'urgence ?

- L'avis des pompiers quant à la dangerosité signalée.
- Un système improvisé en urgence : des fiches comprenant un système de relevé rapide avec photos et une description succincte du bâtiment concerné, ce qui a pu permettre de déterminer l'urgence :
  - o Une fiche par église avec architecture spécifique,
  - o une fiche par « Palazzo », ce qui a été plus compliqué, vu la complexité de la structure, avec plusieurs parties liées à l'histoire, à des compositions architecturales différentes...
  - Une fiche par objet d'art.
- Difficulté plus grande pour les cimetières, pour lesquels ils ne disposaient pas de fiche spécifique.

Ces fiches étaient préalablement remplies et les équipes devaient les compléter sur place, voire les modifier si nécessaire. Pour s'aider, ils ont complété les documents de la protection civile de 2006.

A ce jour, la direction dispose d'une base de données suffisante et efficace, à partir de laquelle on a pu préciser les actions à conduire :

Organiser les équipes d'intervention pour faire les relevés (équipes composées d'un ingénieur architecte du ministère, et d'un ingénieur des pompiers + un expert en structure de l'université). Une convention a été signée avec eux.

- Réalisation d'une fiche par monument, comprenant :
  - Toutes les dénominations
  - o L'historique
  - Les quantifications et estimation des dégâts
  - La distribution sur le territoire des dégâts
  - Géo-référencement avec création d'une base et interfaçage avec les fiches, croisement possible de toutes les bases de données.

Dès le 20 mai 2012 au matin, juste après le séisme, les premières réunions se sont tenues dans les préfectures de Modena et de Ferrara. La province de Modena a été la plus affectée, notamment les églises et les campaniles, les palais et les forteresses.

A Ferrara, ils ont étudié la chronique du 17.11.1570 et ont examiné comment s'étaient faites alors les réparations : à cause de son effondrement, la façade courbe de style vénitien de l'église Saint François d'Assise a ainsi été totalement modifiée. Aujourd'hui elle est de style florentin.

## Le patrimoine culturel : principale victime des deux séismes.

Quelques exemples:

- → Finale Emilia : Tour effondrée. Chiesa del Rosario, chef d'œuvre du baroque, nombreux stucs, très fissurée.
- → Buona Compra : église du 16ème siècle restaurée au 19ème siècle. La maçonnerie des toits a lâché et s'est ouverte. Le toit s'est effondré et la façade a basculé vers l'avant. Il n'existait pas de contreforts.
  - Problème des matériaux utilisés en provenance de la plaine. Si les briques sont de bonne qualité, ce n'est pas le cas du mortier, de très mauvaise qualité, quasiment du sable et peu de chaux.
- → Sant'Agostino: oratorio Glisillieri (fin du 18ème siècle). Problème de proportion architecturale et de qualité de matériaux. On venait de terminer des travaux de restauration, mais le toit était rigide, confiné et pas connecté aux structures en maçonnerie très fine, de plus sans contreforts. Exemple typique d'une législation qui n'a pas été appliquée, de sanction inexistante et d'un travail dans l'urgence. Le projet de restauration datait de 2003 et avait été réalisé en 2012!

## → Mirandola :

Chiesa di San Francesco. Le chantier est une priorité et en cours de mise en sécurité. En effet, c'est la 2ème plus importante église de Franciscains en Italie après Assisi est le panthéon de la famille Pic de la Mirandole. Tous les Pic y sont enterrés. Elle s'est effondrée après le 2ème séisme. Le campanile qui était appuyé sur l'abside de l'Eglise s'est effondré à l'intérieur. L'église est une propriété de l'Etat :

Ils ont sauvegardé les tombeaux de la famille Pic.

- Un grand débat s'est instauré pour savoir s'il faut reconstruire ou pas. De même pour la forteresse.
- Chiesa de Gesu : toutes les voûtes se sont effondrées. Correct à l'extérieur, mais tout est détruit à l'intérieur.
- San Felice sul Panaro : église totalement détruite, tours détruites, siècle (Triptyque de Bernardo Loschi) dans la cathédrale sauvé le 28 mai (!!) juste avant le 2ème séisme.

Les œuvres d'art ont été dégagées aussi vite que possible des décombres et mise en sécurité dans un même lieu (Sassuelo) où on travaille à leur sauvegarde et restauration.

- Forteresse du 15ème siècle : gros travaux faits dans les années 90 avec nouveau sol en béton armé. La masse a expulsé le reste : effet marteau.
- Reno Finalese : la voûte de l'église très plate, une typologie fréquente, donc très fragile, souvent avec des fresques importantes, s'est effondrée ; la première travée était la plus sensible.
- Carpi : un renforcement, avant le séisme, en fibre de carbone a permis de sauvegarder l'église de San Nicole mais le tambour de la coupole c'est effondré

C'est le ministère de la culture qui a donné les directives et agi en direct, en lien avec les pompiers qui ont une grande maîtrise de la gestion de l'urgence.

Trois démolitions en tout ont dû être immédiatement décidées :

- Buona Compra: l'église San Martino a été entièrement étêtée. Le clocher s'était incliné, coupé en trois parties du fait de torsions et rotations liées aux secousses. A dû être démoli définitivement, car trop dangereux. Ils avaient préalablement testé une restauration qui s'est avérée impossible. Ils ont récupéré et stocké les matériaux.
- ➤ A Sant'Agostino. La mairie a dû être totalement rasée. Cause : les archives de la ville très lourdes avaient été stockées sous le toit qui s'est effondré. Grâce à l'action des pompiers, qui ont pratiqué un trou dans le toit et extrait peu à peu les documents, les archives ont pu être sauvées.
- ➤ Cavezzo a perdu son hôtel de ville. Actuellement il existe un projet de transformation des anciens bâtiments scolaires du 19ème siècle en nouvelle mairie. Un concours d'architecte est d'ores et déjà lancé.

Andrea Sardo et Antonino Libre ont eu, disent-ils, la chance d'avoir travaillé à l'Aquila juste après le séisme de 2009, ce qui leur a donné une expérience précieuse pour agir en 2012. Ils étaient ainsi conscients que les équipes devaient disposer d'un plan

avant d'aller sur le terrain, qu'il était indispensable d'établir une estimation économique et financière, partie la plus délicate et difficile.

Dans une estimation, il faut en effet être capable de chiffrer les coûts d'une reprise de structure, des finitions (corniches, fresques...), d'une amélioration du comportement sismique, ce qui est le rôle d'une commission spécialisée.

C'est une question posée au plan national : ne faut-il pas enlever cette dernière partie de la mission aux équipes qui vont sur le terrain, car complexe.

En Emilie-Romagne, Andrea Sardo et Antonino Libre considèrent que les dégâts sont à peu près similaires à ceux de l'Aquila, mais en Emilie-Romagne, ils sont très diffus (image de paysage bombardé) tandis qu'à L'Aquila, ils sont très concentrés. Les devis et appréciations diffèrent donc beaucoup.

# IV. Pompiers (Vigili del Fuoco) La grande maîtrise de la gestion de l'urgence

## IV-1. Le rôle des « Vigili del Fuoco »

Dans les missions remplies, les pompiers italiens ont un mode de fonctionnement différent de celui que connaît la France, notamment en matière d'organisation, de formation, de spécialité... Par exemple, les Vigili del Fuoco pour les incendies urbains, les accidents de la route, le confortement d'urgence et la mise en sécurité et les pompiers forestiers pour les incendies de forêts etc...

Les « Vigili del Fuoco », placés sous la tutelle du ministère de l'Intérieur italien, sont un corps incontournable en matière d'intervention sur les séismes.

Le fonctionnement diffère un peu du corps des sapeurs-pompiers français dans le sens où en Italie, ils ne font pas d'assistance médicale d'urgence.

Ils fournissent en revanche une assistance technique très efficace visant à la protection des personnes et à la sauvegarde de l'intégrité des biens.

Plutôt différent des systèmes européens, l'Italie a choisi de rattacher à deux administrations différentes le Département des Sapeurs-Pompiers et celui de la Protection Civile (respectivement auprès du Ministère de l'Intérieur et auprès de la Présidence du Conseil au niveau central).

Dans la chaîne de commandement, avant la loi Bassanini de 2004, l'unique responsable des secours était le Préfet. Aujourd'hui, le Centre de Coordination des Secours (C.C.S.) est dirigé par les administrations régionale et provinciale.

## IV-2. Historique

Les incendies sont une des catastrophes les plus redoutées. Selon les Annales de Tacite, les premières dispositions de lutte contre les incendies furent organisées en 289 avant JC. C'est le début de la prévision.

Depuis, il y a toujours eu des structures mises en place comme par exemple à l'époque d'Auguste (33 avant JC), la Vigilum cohortes comprenant 7000 hommes ; plus tard on retiendra le service des gardes de nuit en 595, une disposition réglementée par Clotaire II roi des Francs ; puis il y a eu la Compagnie Royale des Brentatori du Piémont au service du roi Vittorio Amedeo de Savoie.

Les Italiens étaient aussi très attachés à la dimension communale des pompiers comme à Florence avec la Guardia del Fuoco crée au Moyen-âge. Plus tard, Naples constitue un corps en 1806, Rome en 1810 et Milan en 1811 avec la Compagnia di Zappatori Pompieri. En 1811 Napoléon Bonaparte, donne une organisation militaire au corps des gardes pompiers de Paris qu'il étendra à tout l'empire, y compris l'Italie. Petit à petit le corps national des Vigili del Fuoco prend forme.

Les pompiers italiens qui n'ont pas seulement la tâche d'éteindre les feux, sont choisis parmi les artisans, les maçons, les forgerons, les charpentiers... Car ils sont aussi en mesure de réaliser des travaux provisoires tout en faisant preuve parfois d'imagination.

Dans la seconde moitié du XIXe siècle, à la demande du Pape Pie IX, le Corps des Vigiles du Feu du Vatican a été chargé de placer une colonne surmontée de la statue de la Vierge Immaculée Conception, sur la Place d'Espagne à Rome. Les Vigiles du Feu furent preuve d'imagination en réalisant une ingénieuse machine pour soulever la colonne.

Quelques années après, ce sont aussi les pompiers qui ont effectué la restauration de la partie supérieure du campanile du XIIe siècle, de l'église de Saint-Mercurial à Forli (Emilia Romagna) et qui s'élève à 75,58 m. La mission fut donnée à des pompiers Romains par le ministère de l'Instruction Publique, car la dangerosité et l'extrême difficulté à effectuer une telle intervention, a entraîné le refus des entrepreneurs de travaux publics de la ville et des provinces limitrophes.

La récurrence d'événements sismiques destructeurs sur le territoire italien a permis de mettre en place progressivement un savoir-faire en matière de travaux temporaires pour la mise en sécurité des lieux après un séisme.

De nombreux exemples ont été retrouvés parmi la documentation historique et photographique suite à des événements.

Un extrait de la chronique des tremblements de terre de Valtiberina en date du 30 septembre 1789 et racontée par un chroniqueur de « Citerna », l'auteur témoigne l'origine ancienne des étaiements comme intervention provisoire pour la mise en sécurité des bâtiments endommagés par un séisme.

Autres sources historiques relatant successivement les événements sismiques comme ceux de Messine en 1908, d'Avezzano en 1915, d'Aquilonia et Lacedonia en 1930, de Belice en 1968, tous confirment l'étaiement comme étant l'unique méthode d'intervention provisoire adoptée lors de séisme.

Pourtant, d'autres moyens techniques étaient utilisés, comme les tirants et les cerclages en acier. Mais, ceux-ci ont été utilisés dans une phase postérieure à celle de l'urgence, dans le cadre plutôt de processus de consolidation définitive d'une structure. Cette mise en œuvre reste plutôt le rôle des entreprises de construction.

En matière de sécurisation, le tremblement de terre de 1976 dans le Frioul apporte une innovation. Des équipes de pompiers composées en partie par des menuisiers compétents, ont utilisé l'association de tirants métalliques et de poutres de bois, comme éléments de retenue.

Plus tard, le tremblement de terre du 23 Novembre 1980 qui a frappé Irpinia et la Basilicate n'a pas marqué une percée dans le domaine des travaux de première intervention. Les équipes de pompiers utilisèrent exclusivement les méthodes d'étaiement, réalisés avec les matériaux trouvés sur le site en raison des difficultés d'approvisionnement de l'extérieur.

Une telle situation a entraîné une inévitable inhomogénéité des étaiements conçus par les différentes équipes de pompiers.

Une première étape importante vers l'utilisation de techniques innovantes, a été réalisée à l'occasion du tremblement de terre du 26 septembre 1997 qui a frappé les régions de l'Ombrie et Marche. Ce fut le premier événement à être suivi par un noyau constitué de spécialistes du Corps National de Secours Alpins Spéléologique et Fluvial. Ces équipes sont intervenues notamment sur des structures élevées (tours, campaniles et cheminées) pour des travaux de sécurisation en utilisant des câbles d'acier et des sangles polyester, faciles à employer et rapides à mettre en œuvre.

Cependant, les systèmes d'étaiements traditionnels furent une fois de plus réalisés avec peu d'homogénéité, et dans certains cas, restèrent inachevés en raison de la pénurie de matières premières.

## IV-3. Les premiers documents

Autre innovation, c'est enfin la publication de documents servant à uniformiser les travaux de sécurisation. En effet, un premier pas est franchi en l'an 2000 par l'Agence de Protection Civile, Service Sismique National qui publie un texte sur "Les travaux temporaires d'urgence sismique" rédigé par M. Bellizzi.

Un second document fut réalisé par le professeur Dolce (du Groupe National Défense contre les Tremblements de terre GNDT) et par l'Ingénieur Di Pasquale du Service Sismique National. Il fut rédigé pour le Comité Technique et Scientifique créé lors du tremblement de terre de Pollino du 9 Septembre 1998. Ce fascicule contient

les «Recommandations pour les travaux de sécurisation». Il est particulièrement utile dans le domaine de l'amélioration des techniques d'interventions provisoires postsismique.

En 2007, la Direction Centrale pour la formation du CNVVF, sous la responsabilité de l'ingénieur Basti, forme un groupe de travail pour l'élaboration d'un nouveau document. Cet ouvrage abordera les problèmes de construction, de l'instabilité statique aux travaux temporaires. Le groupe de travail a élaboré un document complet, qui pour la première fois, a prévu de consacrer une partie à l'apprentissage manuel, appliqué aux solutions théoriques choisies dans la réalisation d'étaiement.

Suite au résultat de ce travail, il a été mis en place des cours de formation pour le personnel en service dans les différents commandements de pompiers du territoire national.

Lors du tremblement de terre de l'Aquila le 6 Avril 2009, la formation des pompiers s'est révélée très efficace pour la mise en sécurité des constructions. Les travaux provisoires ont été effectués par un personnel bien préparé avec une grande efficacité.

Quant au personnel qui n'était pas formé, les vigiles ont appris sur le terrain et ont effectué les mêmes types de travaux.

Désormais, le Manuel et le guide STOP (Schede Tecniche di Opere Provvisionali), résultat d'un échange continu d'expériences et de connaissances, demeure le document incontournable en réponse aux exigences spécifiques que demande ce type d'intervention (un résumé du manuel STOP est présenté au chapitre V-c.

## IV-4 Mise en sécurité

Leur domaine de compétence consiste avant tout à sécuriser les édifices fragilisés par le séisme et qui représentent un véritable danger pour la sécurité des passants. Pour cela, ils disposent de fiches types suivant la typologie de l'édifice (église, campanile, château etc.), indiquant les différents points particuliers à renforcer.

Un an après le séisme, des colonnes mobiles venues parfois de loin, sont toujours en place pour intervenir sur les bâtiments.







Le responsable de la colonne mobile des « Vigili del Fuoco » venant de Rome, nous explique sur plans les techniques d'intervention de mise en sécurité de l'église Santa Maria Maggiore à Mirandola

## IV-5. Sauvetage du patrimoine et des archives

Peu après le tremblement de terre du 20 mai 2012, les Vigili del Fuoco ont également procédé à l'évacuation des œuvres d'art mobiles, parfois en utilisant des méthodes aériennes acrobatiques.

C'est dans le palais Ducal de Sassuolo, une commune située au sud-ouest de Modena (province de Modena), que 1.150 œuvres ont été admises, notamment des peintures, des tableaux, des statues, des équipements et du mobilier liturgique religieux provenant de l'ensemble du territoire affecté par le tremblement de terre.

Le rez-de-chaussée du palais de Sassuolo a été réquisitionné pour entreposer les œuvres et procéder au triage. Ils ont également créé un atelier de travaux d'urgence pour le mobilier endommagé grâce aux fonds du Ministère de la Culture.







Atelier de travaux d'urgence pour les œuvres endommagées (Photos : Direzione Regionale per i Beni Culturali e paesaggistici dell'Emilia Romagna)

Par ailleurs, dans la commune de Vignola, un pôle d'archives a été mis en place, pour la réorganisation et l'inventaire des archives récupérées sur le territoire affecté par le séisme.

Les biens ecclésiastiques représentent une part importante parmi les 1600 biens affectés par les séismes. Certains édifices qui ne nécessitaient que de petites réparations, ont été réparés. En revanche, le travail est plus compliqué et plus long pour les constructions effondrées. Pour l'heure les travaux préliminaires de mise en sécurité sont en cours avant la phase de reconstruction. C'est un travail très long et très bien organisé.

# V Les documents techniques italiens sur le risque sismique et le patrimoine culturel

L'Italie est le pays des superlatifs pour le patrimoine. Dans tous les guides, on vous parlera de ses 100 000 églises, de ses 40 000 châteaux, de ses 20 000 centres historiques, de ses 3 000 musées, de ses 2 500 sites archéologiques et de ses 1 000 théâtres. On vous dira souvent qu'il abrite 60% des trésors culturels de la Planète. Ce pourcentage est sans doute invérifiable et il est peut être très généreux. Mais le chiffre de 46 025 bâtiments considérés comme "patrimoine architectural" est un chiffre attesté et l'Italie occupe officiellement la première place au classement du Patrimoine Mondial de l'Unesco avec 49 sites inscrits (dont la ville de Ferrare et la basilique San Francesco d'Assise).

Pour comprendre ces chiffres, il faut indiquer que l'attachement au patrimoine est très fort en Italie. La protection du patrimoine est inscrite dans la constitution dont l'article 9 indique :

Voyage d'étude - Italie / juillet - août 2013

Volume I : Retour d'expérience, Sismicité de l'Italie

« La République favorise le développement de la culture et de la recherche scientifique et technique. Elle protège le paysage ainsi que le patrimoine historique et artistique de la Nation. »

Cette protection est assurée par le Code des Biens Culturels et des Paysages (Codice dei Beni culturali e del Paessaggio) qui donne des pouvoirs très étendus au ministère des Biens et des Activités Culturelles (le MiBAC - Ministero per i Beni e le Attività Culturali) et à ses représentants locaux, les Soprintendenze. Les Soprintendenze ont des pouvoirs importants, mais comme ce sont des services très compétents ils sont très respectés, et nous avons pu partout le constater.

En Italie, les procédures sont assez différentes par rapport à la France.

En France nous parlons de "Monuments Historiques" et nous avons un système d'inscription et de classement qui désigne certains bâtiments comme "monumentaux" mais d'une manière exceptionnelle.

En Italie on parle de "Biens Culturels" et on applique un "mécanisme de vérification de l'intérêt culturel" qui fait que les biens de plus de cinquante ans sont étudiés au regard des intérêts "artistiques, historiques, archéologiques ou ethnologiques". Les biens publics de plus de cinquante ans sont étudiés automatiquement ; les biens privés le sont à la demande du propriétaire. Tant que l'intérêt n'a pas été vérifié, le bien est spontanément subordonné au dispositif juridique mis en place par le Code.

De la sorte, si en France il faut expressément inscrire ou classer un bâtiment ancien pour le protéger, en Italie tout bâtiment de plus de cinquante est présumé "bien culturel" tant que le contraire n'a pas été démontré. Ce cadre juridique qui n'est guère contesté (sauf peut-être par le marché de l'art international qui prône la libre circulation des marchandises et des biens...) témoigne du très fort attachement des italiens à leur patrimoine. Pour eux de sont des biens "irremplaçables".

Mais l'Italie est aussi un pays soumis à un fort risque sismique et si on croise ces deux aspects, il n'est pas étonnant que l'Italie ait non seulement une très "riche" expérience des dommages sismiques en matière de Monuments Historiques, mais aussi des documents et des manuels d'une très grande qualité pour évaluer et du patrimoine culturel, ou pour intervenir sur les réduire le risque sismique monuments en situation d'urgence.

Les trois documents principaux que l'on peut citer sont :

- a) Les Lignes Guide pour l'évaluation et la réduction du risque sismigue du patrimoine culturel (Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni)
- b) Les Fiches de Relevé de dommages (Scheda per il rilievo del danno)
- c) Le Manuel "STOP" d'intervention technique urgente en situation sismique (Il Manuale «STOP». L'intervento tecnico urgente in emergenza sismica)

# V-1 Lignes Guide pour l'évaluation et la réduction du risque sismique du patrimoine culturel

Les Lignes Guide pour l'évaluation et la réduction du risque sismique du patrimoine culturel est un document du Ministère pour les Biens et les Activités culturels (Ministère per i Beni e le Attività Culturali) qui a valeur de directive.

Sa dernière édition, disponible sur Internet, est de janvier 2011. C'est un document consistant d'environ 160 pages qui est diffusé avec des compléments et des exemples d'application. Il est composé de la manière suivante :

- 1. Objectif (Oggetto della direttiva):
  - la finalité et les critères,
  - le contenu des lignes directrices.
- 2. Exigences de sécurité et de conservation (Requisiti di sicurezza e conserva-zione)
  - les instruments pour l'évaluation de la sécurité sismique à une échelle territoriale.
  - les critères pour l'évaluation de la sécurité sismique et de l'efficacité de l'intervention,
  - la définition des états limites de références pour le patrimoine culturel,
  - les niveaux de protection sismique,
  - la modélisation structurale, l'analyse sismique et la conception des interventions.
- 3. Action sismique (Azione sismica):
  - les effets de sol,
  - les spectres de réponses.
- 4. Connaissance du bâtiment (Conoscenza del manufatto) :
  - Chemin de la connaissance (identifications, relevés, études des matériaux ...),
  - Niveaux de connaissance et facteurs de confiance.
- 5. Modèles pour l'évaluation de la sécurité sismique (Modelli per la valutazione della sicurezza sismica)
  - Comportement sismique des bâtiments historiques en maçonnerie,
  - les méthodes d'analyse (statique linéaire, dynamique modale, statique non linéaire, dynamique non linéaire),
  - Niveaux d'évaluation de la sécurité sismique (analyse qualitative et évaluation avec des modèles simplifiés, mécanismes locaux d'effondrement, évaluation globale de la réponse sismique du bâtiment),
  - Modèles d'évaluation par typologie (palais, églises, tours, ponts).

- 6. Critères pour l'amélioration sismique et techniques d'intervention (Criteri per il miglioramento sismico e tecniche di intervento)
  - Stratégies pour le choix d'une intervention,
  - Influence du contexte de l'intervention,
  - Opérations techniques (interventions sur les défauts de connexion, la pression des arcs et des voûtes, la consolidation des sols, les couvertures, la maçonnerie, les piliers et colonnes, les éléments non structuraux)
  - Opérations de projet.
- 7. Vue d'ensemble du parcours d'évaluation de la sécurité sismique et du projet d'amélioration (Quadro riassuntivo del percorso di valutazione della sicurezza sismica e progetto degli interventi di miglioramento sismico).

#### Annexe A:

Programme de surveillance de l'état de conservation du patrimoine architectural protégé

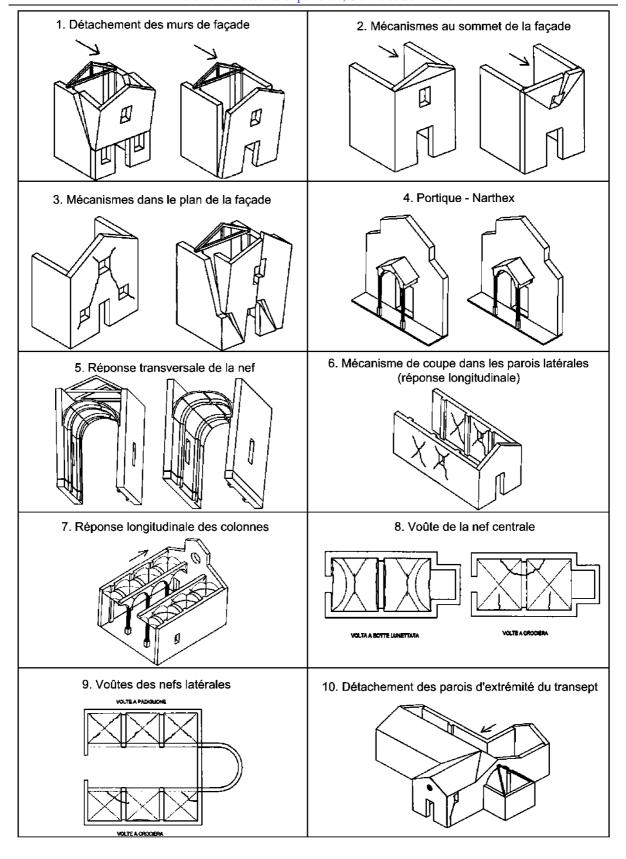
#### Annexe B:

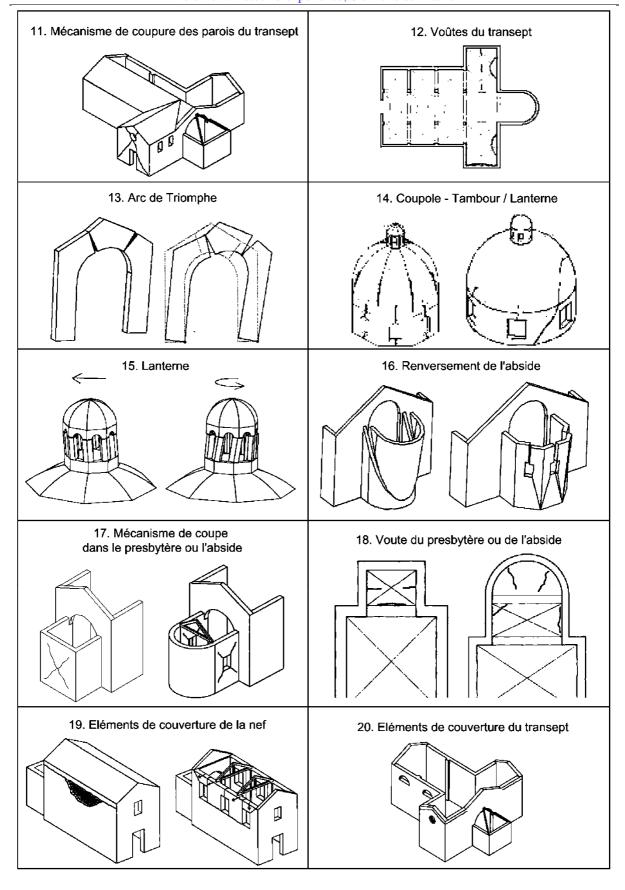
L'analyse structurelle des monuments historiques en maçonnerie

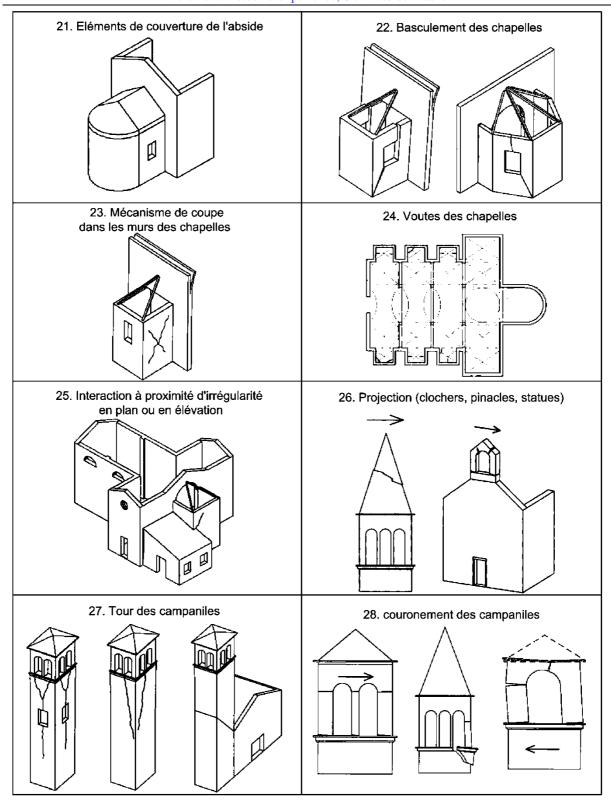
### Annexe C:

Modèle pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique des églises

Cette dernière annexe C mérite de s'y arrêter. Elle définit 28 mécanismes d'endommagement, associés aux différents "macro éléments" qui peuvent être présents dans une église.







Grâce à un modèle approprié, décrit à la section 5.4.3 des lignes guide, il est possible d'évaluer un indice de vulnérabilité (5.14), puis l'indice de la sécurité sismique de l'église. Pour cela, on doit d'abord vérifier si certains "macro éléments" sont présents et quels sont les mécanismes qui peuvent se produire lors d'un tremblement de terre.

Pour l'évaluation de la sécurité sismique, il y a 3 niveaux possibles :

- > LV1 : analyse qualitative et évaluation avec un modèle mécanique simplifié
- LV2 : évaluation sur la base des mécanismes locaux d'effondrement
- LV3 : évaluation globale de la réponse sismique du bâtiment

Ces 3 niveaux d'évaluation, de plus en plus complets, correspondent à des besoins différents :

- LV1 : évaluation pour une analyse statistique de la vulnérabilité sismique des biens culturels à une échelle régionale
- LV2 : évaluation pour des interventions locales portant sur des zones limitées
- ➤ LV3 : évaluation pour la conception des interventions qui modifient le fonctionnement structurel ou lorsqu'il est nécessaire d'avoir une évaluation minutieuse de la sécurité sismique

Les lignes guide sont complétées par 6 exemples d'application et un logiciel d'application appelé SIVARS.

Les exemples d'application sont :

- un palais à Rome, "l'Antiquarium Palatino" (étude LV1 et LV3)
- une école à L'Aquila, situé dans "l'Ospedale San Salvatore" du XIIIe siècle (étude LV1 et LV2)
- une église à L'Aquila, "San Marciano e San Nicandro" (étude LV1 et LV3)
- un campanile en Vénétie, "Campanile della chiesa di Sant'Antonin" (étude LV1 et LV2)
- une évaluation de la sécurité sismique à l'échelle du territoire à Molise (étude LV1 sur 500 églises)

Le logiciel SIVARS (Sistema Informativo per la VAlutazione del Rischio Sismico) est un outil d'information fourni par le Ministère des Biens Culturels pour l'application des lignes directrices.

Il est mis à la disposition de tous les organismes qui en font la demande (www.benitutelati.it) et il gère la méthodologie donnée par les lignes guide pour obtenir d'une manière contrôlée une évaluation de la sécurité conformément au 1° niveau de vérification, LV1.

Il s'applique aux types les plus courants des édifices protégés :

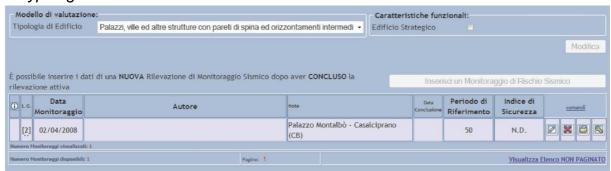
- palais, villas et autres structures avec des murs porteurs et des éléments horizontaux intermédiaires
- églises, lieux de culte et autres structures avec de grandes salles et sans éléments horizontaux intermédiaires
- > tours, clochers et autres structures dont le développement est principalement vertical

Voyage d'étude - Italie / juillet – août 2013 Volume I : Retour d'expérience, Sismicité de l'Italie

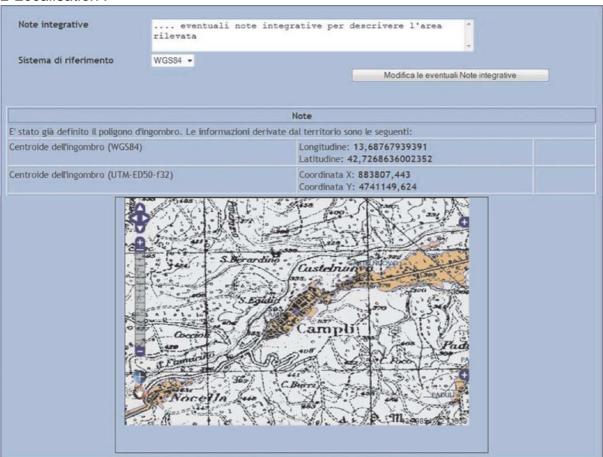
Bien qu'il soit au 1° niveau de vérification, LV1, c'est à dire "analyse qualitative et évaluation avec un modèle mécanique simplifié", le système demande des saisies importantes et il fournit des résultats conséquents.

Dans ce qui suit, on trouvera quelques copies d'écran qui donnent sur un exemple le déroulement de la démarche.

# 1 Typologie:



#### 2 Localisation:



#### 3 Caractéristiques surfaces, structure :

Caratteristiche dimensionali:		
ATTENZIONE! È stata definita la Struttura dei Piani quind	li Modificare co	n cautela i dati di Altezza di gronda e Numeri dei Piani.
Superficie coperta (m²)	49	
Altezza di gronda (m)	6.9	
Numero piani entroterra	0 Si ev	idenzia che il rilievo dei piani interrati non deve entrare nel Rilievo
	Elen	nenti Strutturali.
Numero piani seminterrati	0 Si ev	idenzia che il rilievo dei piani seminterrati può entrare nel Rilievo
	Elen	nenti Strutturali a descrizione del rilevatore.
Numero piani fuori terra	3	
Attenzione: in presenza di un SOTTOTETTO calpestabile	incrementare o	fi UNO il Numero piani fuori terra.
Caratteristiche di struttura:		
		Guida alla definizione delle Caratteristiche di struttura 📔
Coefficiente di struttura	3	
Valori consigliati: compreso tra 3 e 3.6 per edifici con nu	umero di piani n	naggiore o uguale a due e regolari in elevazione, compreso tra 2.25 e 2.8
negli altri casi.		
Coefficiente ζ	ζ <sub>χ</sub> 0	valore compreso tra 0.8 e 1
	ζ <sub>y</sub> 0	valore compreso tra 0.8 e 1
Il $\zeta$ va definito per le direzioni analizzate (x e y). Quindi p	er ogni manufat	tto si avranno i coefficienti $\zeta_{_{\mathrm{N}}}$ e $\zeta_{_{\mathrm{y}}}.$
Valore numerico varia tra 0.8 fasce di piano deboli e 1 fa	asce di piano re	esistenti.
Numero dei Prospetti	4	

# 4 Saisie des plans scannés (gif, jpg, png, bmp, tiff) :



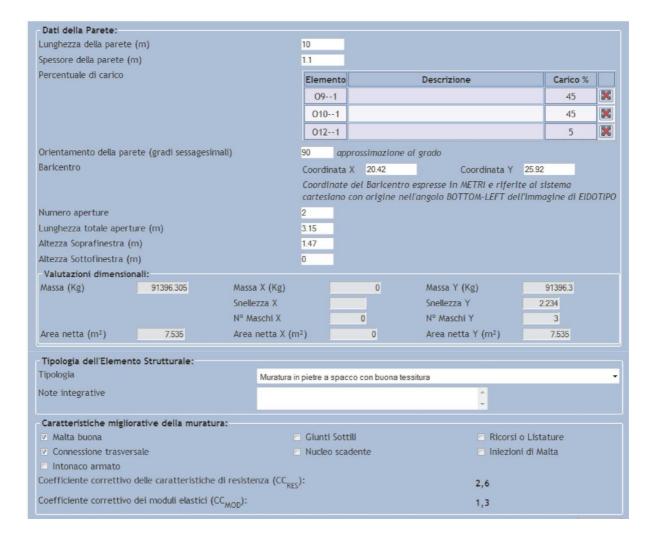
#### 5 Relevés des éléments structuraux :



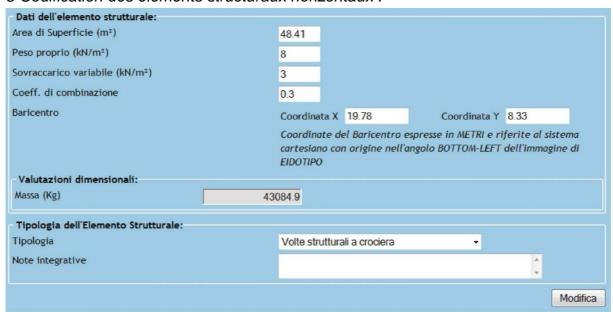
# 6 Relevés des surfaces

032-1	20,694 (m²)
033-1	31,563 (m²)
S2-1	31,403 (m²)
V31-1	23,426 (m)
V32-1	22,796 (m)

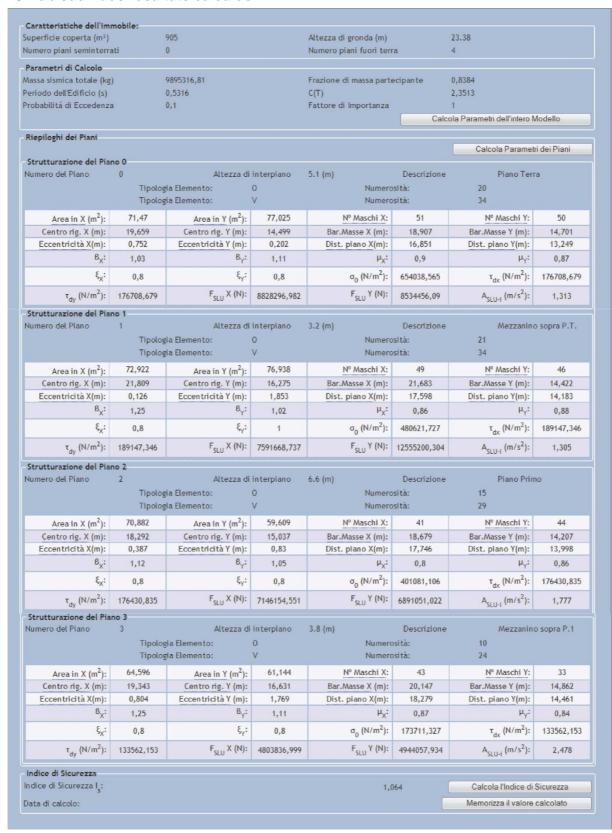
#### 7 Codification des éléments structuraux verticaux



# 8 Codification des éléments structuraux horizontaux :



#### 9 Tableaux des résultats calculés



Cet ensemble formé des lignes-guides, des exemples d'application et d'un logiciel d'application, fait un tout cohérent, compréhensible et facilement applicable. On sent qu'il est le fruit d'une grosse expérience accumulée. Il mériterait d'être traduit en français et largement diffusé auprès des professionnels concernés.

# V-2 Fiches de Relevé de dommages

Les Fiches de Relevé de dommages (Scheda per il rilievo del danno) sont des documents conjoints de la Présidence du Conseil des Ministres, Département de la Protection Civile, et du Ministère des Biens et des Activités Culturelles.

Elles ont été élaborées par un Groupe de Travail pour la sauvegarde et la prévention des biens culturels face au risque sismique (Gruppo di lavoro per la salvaguardia e la prevenzione dei beni culturali dai rischi natural).

La dernière édition disponible sur Internet est de mai 2012.

Ces fiches ont été élaborées un peu sur le même principe que les fiches pour les bâtiments courants, mises au point par la protection civile (fiche AeDES 06/2008, Scheda di 1°livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica), mais elles sont beaucoup plus étoffées et elles nécessitent des spécialistes du patrimoine et des monuments historiques pour leur utilisation en situation post-sismique.

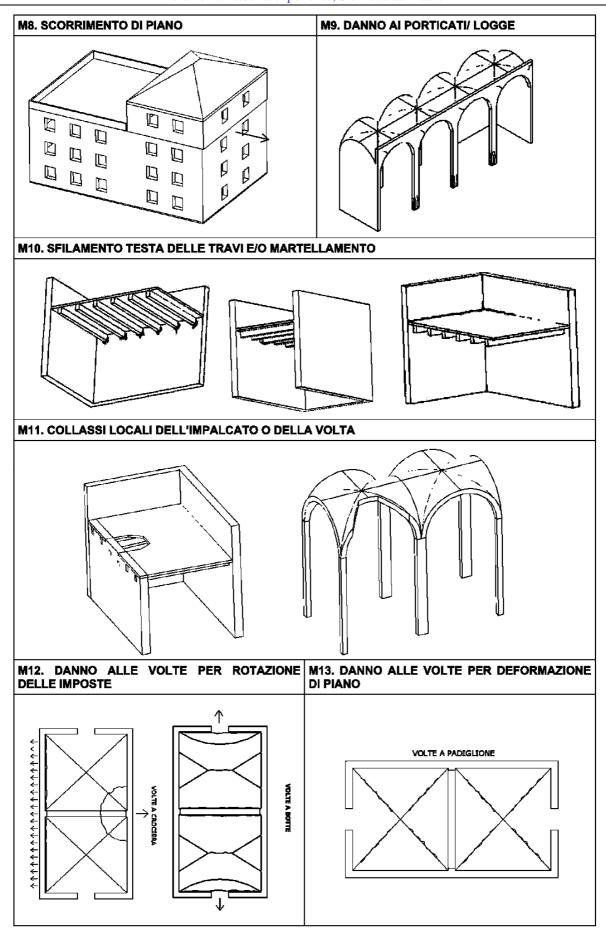
Il existe trois modèles de ces fiches :

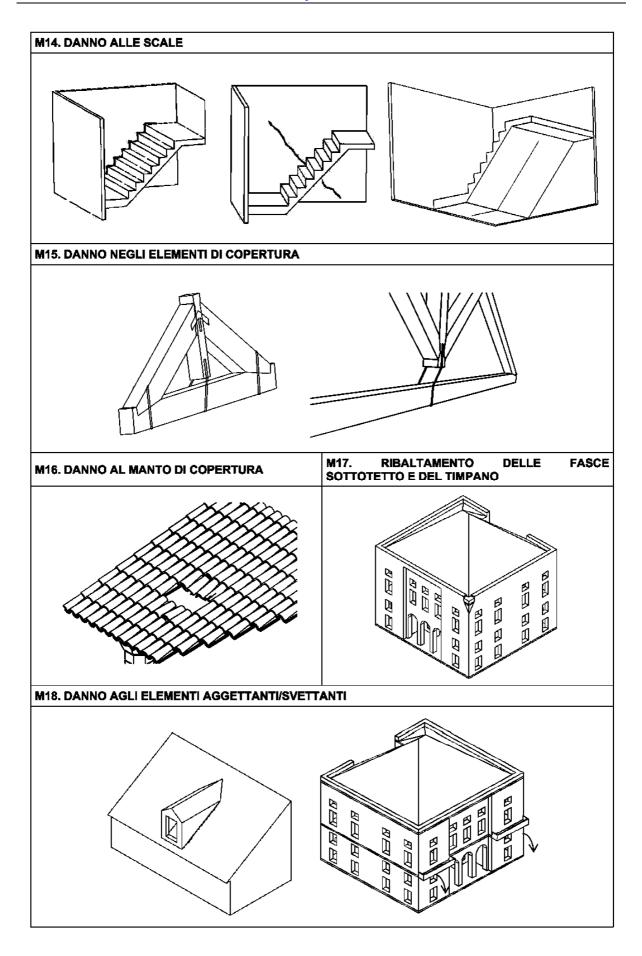
- un modèle spécifique pour les églises (Chiese Modello A-DC)
- un modèle spécifique pour les palais (Palazzi Modello B-DP)
- un modèle spécifique pour les biens mobiliers (Beni mobili Modello C-BM)

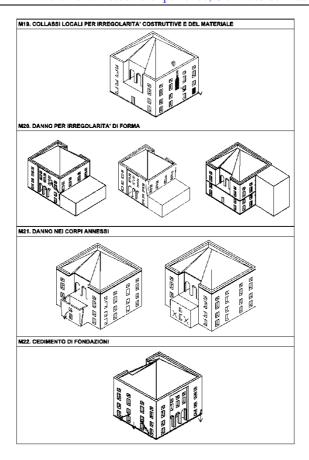


Le modèle pour les églises reprend les 28 mécanismes d'endommagement, associés aux différents "macro éléments" qui peuvent être présents dans une église, que nous avons vu dans les Lignes Guide.

Le modèle pour les palais reprend le principe des églises avec 22 mécanismes caractéristiques.







Le modèle pour les biens mobiliers ne comporte pas de typologie prédéfinie. Face à l'extrême variété de ces biens, il fournit simplement un canevas de description comme pour un catalogue d'exposition (datation, auteur, dimensions, matériaux, état, endommagement ...).

Après le séisme d'Émilie Romagne de 2012, 2 200 bâtiments et 1 150 biens mobiliers ont fait l'objet d'une évaluation post-sismique. Sur ces évaluations, les services de la Direction Régionale des Biens Culturels de Bologne tiraient les conclusions suivantes :

- le travail d'évaluation post-sismique des biens culturels ne peut être réalisé que par des spécialistes très expérimentés
- les équipes étaient composées d'un architecte spécialiste des monuments historiques, d'un ingénieur structure et d'un pompier (vigile del fuoco),
- ➤ les fiches concernant les Églises et les Biens Mobiliers ont été considérées comme adaptées,
- ➢ la fiche concernant les Palais a été trouvée trop complexe et non adaptée aux particularités locales
- il a manqué un modèle de fiche pour les autres typologies architecturales (cimetières, théâtres ...),
- ➤ le temps consacré aux évaluations des dégâts et à l'estimation du coût des réparations a été de un à deux jours par bâtiment en situation d'urgence.

➢ les évaluations du coût des réparations données "à chaud" par les diagnostiqueurs étaient parfois sujettes à caution et elles ont dû être reprises "à froid" (il est envisagé à l'avenir de ne plus demander cette évaluation aux équipes sur le terrain, un chiffrage sérieux semblant peu compatible avec les délais impartis).

En France, nous avons commencé à nous pencher sur le problème des "Diagnostics post-sismiques d'urgence". Dans ce cadre, nous ne pouvons que recommander de s'inspirer de l'expérience italienne pour prendre en compte la spécificité du diagnostic des monuments historiques impactés par un séisme.

# V-3 Manuel "STOP" d'intervention technique urgente en situation sismique

Le Manuel "STOP" d'intervention technique urgente en situation sismique (Il Manuale «STOP». L'intervento tecnico urgente in emergenza sismica) est un document du Corps National des "Vigili del Fuoco".



Riches d'une expérience accumulée dans le domaine de l'urgence post-sismique (mise en sécurité des bâtiments) depuis au moins le séisme de Messine en 1908, les Vigili del Fuoco ont édité un manuel dont la dernière édition diffusée en 2012 comprend :

#### > Introduction

- 1.Les Vigili del Fuoco et l'urgence sismique (I Vigili del Fuoco e l'emergenza sismica)
- 2.L'histoire des interventions provisoires du Corps National des Vigili del Fuoco (La storia delle opere provvisionali del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco)
- 3.La standardisation des ouvrages provisoires (La standardizzazione delle opere provvisionali)

- 4. Hypothèses et critères de calcul (Ipotesi e criteri di calcolo)
- 5.Les aspects opérationnels (Gli aspetti operativi)
- 6. Coopération dans le domaine des schémas STOP (Impiego sul campo delle schede STOP)
- 7. Exemples de réalisation (Esempi di realizzazione)
- Bibliographie et glossaire

Le document est très complet et il fournit des éléments pour :

la stabilisation des bâtiments par contreventement oblique

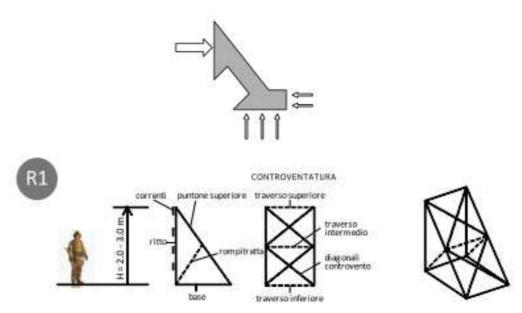


Figura 4.7 Puntelli di ritegno. Soluzione R1, per altezze di puntellamento fino a 3 m.

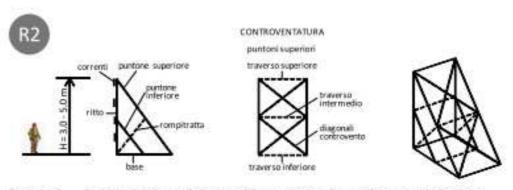


Figura 4.8 Puntelli di ritegno. Soluzione R2, per altezze di puntellamento da 3 a 5 m.

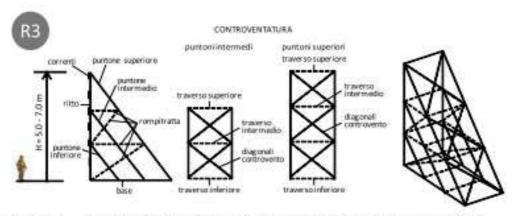


Figura 4.9 Puntelli di ritegno. Soluzione R3, per altezze di puntellamento da 5 a 7 m.

#### ➤ la stabilisation des bâtiments par contreventements horizontaux



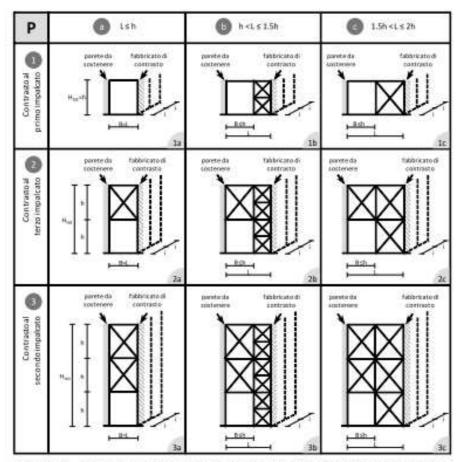


Figura 4.27 Soluzioni progettuali per contrasti alla pari, diversificate in base al numero di impalcati dell'edificio da presidiare e presidiante e in base alla distanza tra i due edifici.

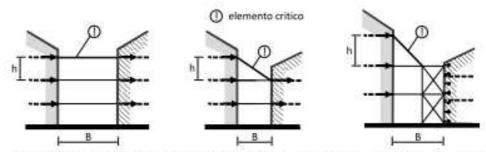


Figura 4.29 Individuazione dell'elemento critico del puntello di contrasto. Per convenzione si assume che la parete da presidiare sia sempre quella di sinistra.

#### > le confortement des ouvertures, des planchers et des balcons

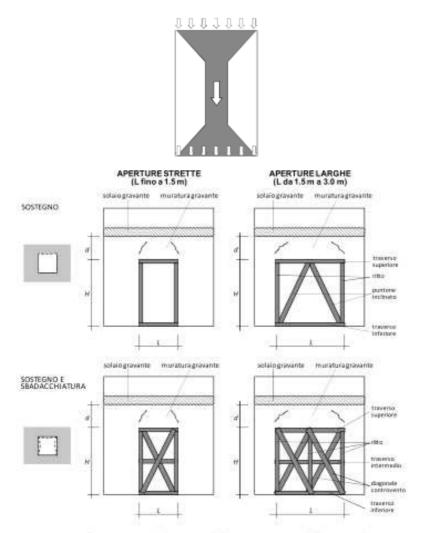


Figura 4.32 Configurazioni individuate per il dimensionamento delle opere di sostegno e sbadacchiatura. Le configurazioni si diversificano in base al tipo di movimento che l'opera deve contrastare e alla larghezza dell'apertura.

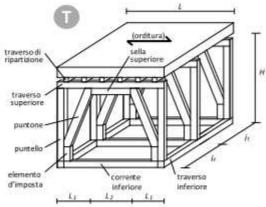


Figura 4.43 Schema T: indicazione degli elementi costituenti lo schema.

# Elétaiement des voûtes Coprigund (Izvelori 5 x 20) Traverso all'infoosta (8x8). fasciato de 2 x 2 tavoiori 5 x 20 Traverso intermedio (8x8). fasciato de 2 x 2 tavoiori 5 x 20 Fasciato de 2 x 2 tavoiori 5 x 20

Figura 4.55 Elementi caratterizzanti una centina a varco aperto.

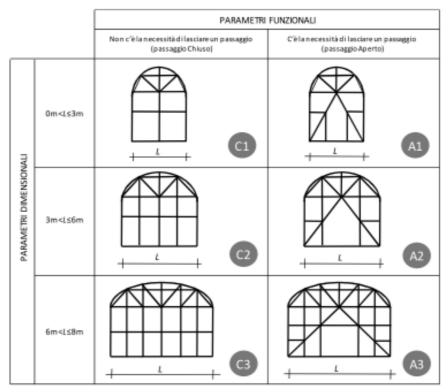


Figura 4.56 Classificazione degli schemi tipo delle centine previste nella scheda STOP SV.

# > le cerclage (tirants) des immeubles

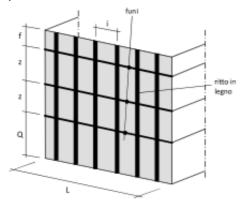


Figura 4.76 Schema configurazioni CE, CP e CV. Il presidio della parete è effettuato esclusivamente mediante cavi posti alle estremità della parete da presidiare. La diffusione degli sforzi è garantita da ritti verticali in legno

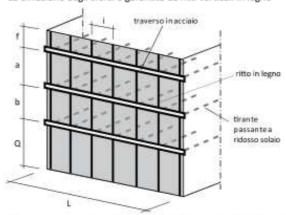


Figura 4.78 Schema configurazione TI. Il presidio della parete è affidato ad un sistema diffuso di cavi. La distribuzione degli sforzi è garantita dalla presenza di un sistema di traversi (in acciaio o legno) e ritti in legno.

#### le confinement des poteaux et colonnes

#### SCHEMI COSTRUTTIVI

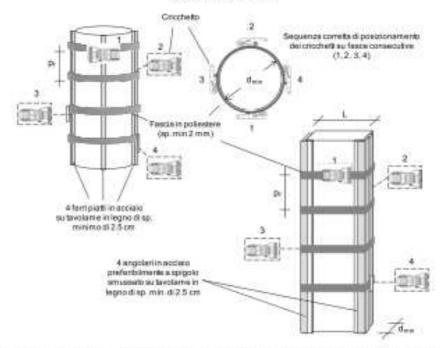


Figura 4.81 Esempio di fasciatura di colonne circolari o rettangolari con indicazione del corretto posizionamento e messa in opera delle fasce.

Pour tous ces éléments, il est donné des méthodes de calcul et des détails d'exécution.

Les calculs sont conduits conformément au NTC 2008, le règlement technique de la construction 2008 en Italie, qui est quasiment l'Eurocode.

Les calculs ne sont pas très complexes, ils sont faits sur une base de "statique équivalent" mais ils demandent quand même un certain nombre de paramètres : catégorie du sol, période fondamentale de la structure, spectre de dimensionnement, masses des éléments.

Au sujet de la période de la structure, il est signalé que les parois à étayer sont caractérisées par une cinématique avec un plan de rupture à la base, ce qui conduit à une augmentation importante de la période fondamentale et à une accélération spectrale inférieure à celle de l'ancrage. Toutefois, et en faveur de la sécurité, il est demandé de prendre une valeur minimum de l'accélération égale à celle du sol.



A L'Aquila, pour faciliter l'application du manuel sans aucun calcul, il a été élaboré un Vade-Mecum -STOP spécifique qui donnait 2 classes d'application :

- classe A pour les secteurs qui avaient eu un endommagement d'intensité supérieure à VIII, en échelle MCS,
- ➤ classe B pour les secteurs qui avaient eu un endommagement d'intensité inférieure à VIII, en échelle MCS.

Et pour tous les types d'ouvrages, le Vade-Mecum donnait directement le dimensionnement des ouvrages.

# Exemple d'étaiement :

# Parametri geometrici e nomenclatura di riferimento per il dimensionamento

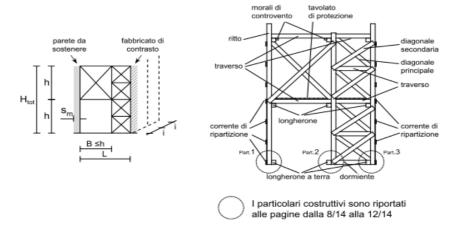
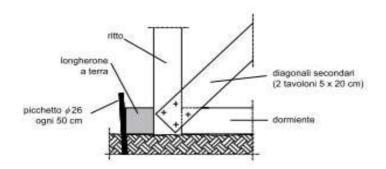


Tabella 1 - Dimensionamento degli elementi principali delle puntellature di contrasto alla pari

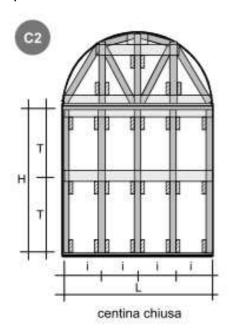
В		Dimensiona	mento di RITT	I, TRAVERSI,	LONGHERONI, DIAGONALI PRINCIPALI				
P		Classe pres	tazionale A *		Classe prestazionale B *				
Altezza complessiva			soste	ax parete da nere: <sub>m</sub> ≤ 1.0 m	soste	ax parete da enere: 0.6 m	Spessore max parete da sostenere: 0.6 m < s <sub>m</sub> ≤ 1.0 m		
H <sub>tot</sub> (m)	Sezione (cmxcm)	Interasse i (m)	Sezione (cmxcm)	Interasse i (m)	Sezione (cmxcm)	Interasse i (m)	Sezione (cmxcm)	Interasse i (m)	
6m <h<sub>tot ≤9m</h<sub>	20 x 20	max 2.0	20 x 20	max 1.5	20 x 20	max 2.0	20 x 20	max 2.0	
3m <h<sub>tot ≤6m</h<sub>	18 x 18	max 2.0	20 x 20	max 2.0	15 x 15	max 2.0	18 x 18	max 2.0	
H <sub>tot</sub> ≤3m	15 x 15	max 2.0	18 x 18	max 2.0	13 x 13	max 2.0	15 x 15	max 2.0	



# Exemple de traitement d'ouvertures :

			S <sub>in</sub>								
			fino a	0.4 m	0.4 - 0.6 m	0.6 - 0.8 m	0.8 - 1.0 m				
		fascia	sistema singolo	sistema doppio	sistema doppio	sistema doppio	sistema doppio				
		solaio gravante f									
		f = 0m	10x10	8x8	8x8	8x8	10x10				
	L ≤1.0 m	0m < f ≤ 1m	13x13	10x10	10x10	10x10	13x13				
		1m < f ≤ 3m	18x18	13x13	13x13	13x13	13x13				
Aperture		3m < f ≤ 5m	n.c.	15x15	15x15	15x15	18x18				
strette	1.0 m <l≤1.5 m<="" td=""><td>f = 0m</td><td>13x13</td><td>10x10</td><td>13x13</td><td>13x13</td><td>13x13</td></l≤1.5>	f = 0m	13x13	10x10	13x13	13x13	13x13				
		0m < f ≤ 1m	18x18	13x13	15x15	15x15	15x15				
		1m < f ≤ 3m	n.c.	18x18	18x18	18x18	18x18				
		3m < f ≤ 5m	n.c.	18x18	20x20	20x20	20x20				
		f = 0m	13x13	10x10	10x10	13x13	13x13				
	1.5 m <l<2.0 m<="" td=""><td>0m &lt; f ≤ 1m</td><td>15x15</td><td>13x13</td><td>13x13</td><td>13x13</td><td>15x15</td></l<2.0>	0m < f ≤ 1m	15x15	13x13	13x13	13x13	15x15				
A	1.5 m~L52.0 m	1m < f ≤ 3m	20x20	15x15	15x15	18x18	18x18				
Aperture larghe		3m < f ≤ 5m	n.c.	18x18	18x18	20x20	20x20				
iaigne		f = 0m	18x18	13x13	15x15	18x18	18x18				
	2.0 m <l≤3.0 m<="" td=""><td>0m &lt; f ≤ 1m</td><td>20x20</td><td>15x15</td><td>18x18</td><td>18x18</td><td>20x20</td></l≤3.0>	0m < f ≤ 1m	20x20	15x15	18x18	18x18	20x20				
		1m < f ≤ 3m	n.c.	20x20	20x20	n.c.	n.c.				

# Exemple de soutien de voûtes :



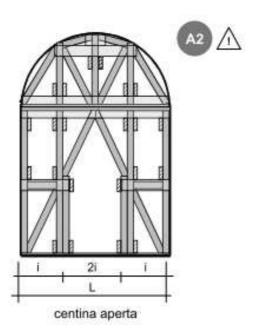
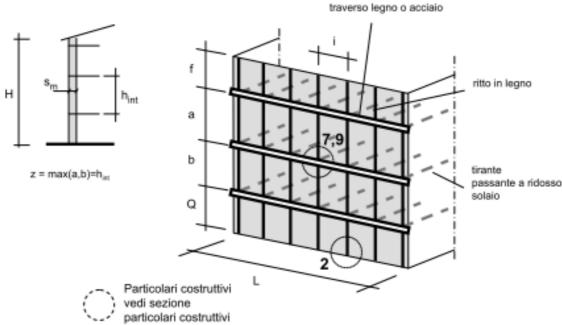


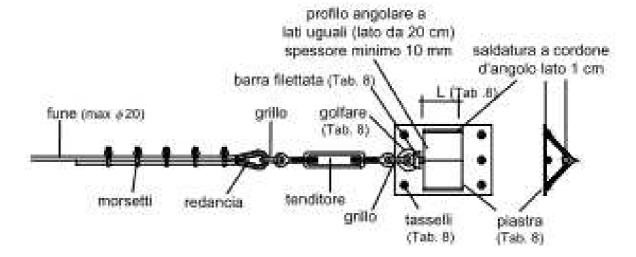
Tabella 3 - Interasse massimo traversi per doppia centina (T) e massima quota d'imposta per centina singola (H)

5170m 1576	10000		on 0.5m ≤ s <sub>m</sub> ≤ 1. centina	0 m	s <sub>m</sub> ≤	a archi con 0.5 m i singola
Luce (L)	Sezione ritti, sa	sette, centine, trav	Sezione ritti, saette, centine e traverso all'imposta			
	13x13	15x15	18x18	20x20	18x18	20×20
3.0 m < L ≤ 4.5 m	T ≤ 1.0 m	T ≤ 2.0 m	T ≤ 3.5 m	T ≤ 3.5 m	H ≤ 4.5 m	H ≤ 5.0 m
4.5 m < L ≤ 6.0 m	T ≤ 1.0 m	T≤2.0 m	T ≤ 3.0 m	T ≤ 3.5 m	H≤4.0 m	H≤5.0 m

# Exemple de ceinturage d'immeuble :



								196						
1			fino a 3 m			3-4 m			4-5m					
(CL	CLASSE PRESTAZIONALE A *		5			5				5				
L			fino a 0.4m	0.4-0.6m	0.6-0.8m	0.8-1m	fino a 0.4m	0.4-0.6m	0.6-0.8m	0.8-1m	fino a 0.4m	0.4-0.6m	0.6-0.8m	0.8-1m
г		Ø fune [mm]	12	14	16	16	14	16	16	18	14	16	18	20
		traverso legno	15x15	18x18	20x20	20x20	18x18	20x20	2 15x15	2 18x18	18x18	20x20	2 18x18	2 18x18
	fino 1m	traverso acciaio	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160
		sez. ritto	13x13	15a:15	18x18	18x18	15x15	18x18	20x20	2 18x18	18x18	20x20	2 18x18	2 20x20
		f max [m]	0.6	0.5	0.8	0.7	0.9	1.1	1.0	1.3	1.2	1.5	1.5	1.5
		Ø fune [mm]	14	16	18	20	16	18	20	n.c.	18	20	n.c.	0.0.
1.1		traverso legno	18x18	2 15x15	2 18x18	2 18x18	20x20	2 18x18	2 18x18	n.c.	2 15x15	2 18x18	n.o.	0.0.
11	1-1.5m	traverso acciaio	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	2UPN160	n.o.	2UPN160	2UPN160	n.o.	0.0.
		sez, ritto	15x15	18x18	18x18	20x20	18x18	20x20	2 18x18	n.c.	20x20	2 20x20	n.o.	n.o.
		f max [m]	0.4	0.6	0.7	0.9	0.8	1,1	1.3	n.c.	1.2	1,4	n.o.	n.o.
		Ø fune [mm]	16	18	20	II.G.	18	20	n.c.	n.c.	20	0.6.	n.c.	D.C.
		traverso legno	2 18x18	2 18x18	2 20x20	II.G.	2 18x18	2 20x20	n.c.	n.c.	2 18x18	D.G.	n.c.	n.c.
П	1.5-2m	traverso acciaio	2UPN160	2UPN160	2UPN160	II.G.	2UPN160	2UPN160	n.c.	n.c.	2UPN160	D.G.	n.c.	R.C.
		sez. ritto	18x18	18x18	20x20	II.G.	20x20	2 18x18	n.c.	n.c.	2 18x18	n.c.	n.c.	n.c.
ш		f max [m]	0.5	0.6	0.8	II.G.	0.7	1.1	n.c.	n.c.	1.2	n.c.	n.c.	n.c.



Nous avons pu constater, à L'Aquila et en Emilie Romagne, la pertinence et la grande qualité du travail de confortement réalisé sur la base du Manuel et du Vade-Mecum STOP et comme pour les "Lignes-Guide", nous ne pouvons que recommander la traduction en français de ces documents et une large diffusion auprès des professionnels concernés.

Cette diffusion bien entendu ne pouvant se faire qu'en accord avec les autorités italiennes et dans le respect du droit des auteurs.

Annexes à titre d'illustration de l'intérêt de ces documents :

:

- Exemple d'évaluation tiré des Lignes Guide : évaluation (LV1, LV3) Chiesa di SS. Marciano et Nicandro à L'Aquila (voir page suivante).
- exemple de confortement tiré du Manuel STOP : intervention de mise en sécurité de la Chiesa di Santa Maria del Suffragio, L'Aquila - Piazza Duomo (cf. 4.2.3)

# ALLEGATO 1: MODELLO PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA SECONDO IL LIVELLO DI METODO LV1

#### CHIESA DI SS. MARCIANO E NICANDRO L'AQUILA

Nel presente Allegato si riporta il rilievo degli indicatori di vulnerabilità e dei presidi antisismici riportati nell'Allegato C delle Linee Guida relativi alla chiesa di ss. Marciano e Nicandro a L'Aquila (AQ). In particolare si riportano unicamente i dati relativi ai meccanismi potenzialmente attivabili all'interno della chiesa in esame

e la valutazione riguarda la situazione del manufatto prima del sisma.

Presidi antisismici	Efficacia
□ Presenza di catene longitudinali	
☐ Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici)	-
Ammorsamento di buona qualità tra la facciata ed i muri della navata	2
Indicatori di vulnerabilità	Gravità
□ Presenza di elementi spingenti (puntoni di copertura, volte, archi) - cupola	-
☑ Presenza di grandi aperture nelle pareti laterali in vicinanza del cantonale	1
2 - Meccanismi nella sommità della facciata	
Presidi antisismici	Efficacia
☐ Presenza di collegamenti puntuali con la copertura	
☑ Presenza di controventi di falda	2
☐ Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)	-
Indicatori di vulnerabilità	Gravità
☑ Presenza di grandi aperture (rosone)	2
☑ Presenza di una sommità a vela di grande dimensione e peso	1
☑ Cordoli rigidi, trave di colmo in c.a., copertura pesante in c.a.	3
3 - Meccanismi nel piano della facciata	
Presidi antisismici	Efficacia
□ Presenza di catene in controfacciata	- ·
☐ Contrasto laterale fornito da corpi addossati o facciata inserita in aggregato	-
Indicatori di vulnerabilità	Gravità
☑ Presenza di aperture di grandi dimensioni o in numero elevato (anche se tamponate	9) 1
☑ Elevata snellezza (rapporto altezza/larghezza)	1
5 - Risposta trasversale dell'aula	
Presidi antisismici	Efficacia
□ Presenza di paraste o contrafforti esterni	-
☑ Presenza di corpi annessi adiacenti	1
☑ Presenza di catene trasversali	1
Indicatori di vulnerabilità	Gravità
☑ Presenza di pareti con elevata snellezza	1
☐ Presenza di volte e archi	-
6 - Meccanismi di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale)	
Presidi antisismici	Efficacia
✓ Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità	1
□ Presenza di buoni architravi nelle aperture	- 1
☐ Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)	
Indicatori di vulnerabilità	Gravità
☑ Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore	2
☑ Cordoli in c.a. molto rigidi, copertura pesante in c.a.	3

13 - Archi trionfali Presidi antisismici:	Efficacia
□ Presid antisismici: □ Pareti di contrasto efficaci (basso rapporto luce/larghezza aula)	Lilicacia
□ Presenza di una catena in posizione efficace	
☐ Presenza di una cateria in posizione enicace ☐ Conci di buona fattura e/o adeguato spessore	2
Indicatori di vulnerabilità:	Gravità
	3
Presenza di copertura pesante in c.a.	
□ Presenza di cupola o tiburio  16 - Ribaltamento dell'abside	
Presidi antisismici:	Efficacia
□ Presenza di cerchiatura (semicircolare e poligonale) o catene (rettangolare)	Lineacia
□ Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati)	
✓ Presenza di copertura controventata, non spingente	1
Indicatori di vulnerabilità:	Gravità
	Gravita
Presenza di forte indebolimento per la presenza di aperture (anche tamponate) nelle pareti	<u>_</u>
Presenza di volte spingenti	3
☑ Cordoli rigidi, copertura pesante, puntoni di falda in c. a.	3
✓ Ammorsamento scadente	3
17 - Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside	Efficacia
Presidi antisismici:	Ellicacia
Muratura uniforme (unica fase costruttiva) e di buona qualità	
□ Presenza di buoni architravi nelle aperture	-
□ Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)	-
Indicatori di vulnerabilità:	Gravità
☑ Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante	3
☑ Presenza di grandi aperture o di ampie zone con muratura di limitato spessore	2
19 - Meccanismi negli elementi di copertura - Pareti laterali dell'aula	
Presidi antisismici:	Efficacia
□ Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, altro)	
□ Presenza di collegamenti delle travi alla muratura	-
□ Presenza di controventi di falda (tavolato incrociato o tiranti metallici)	-
☑ Presenza di buone connessioni tra gli elementi di orditura della copertura	2
Indicatori di vulnerabilità:	Gravità
□ Presenza di copertura staticamente spingente	-
☑ Presenza di cordoli rigidi, copertura pesante	3
25 – Interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche	
Presidi antisismici:	Efficacia
□ Presenza di un'adeguata connessione tra le murature di fasi diverse	-
□ Presenza di catene di collegamento	-
Indicatori di vulnerabilità:	Gravità
☑ Presenza di un'elevata differenza di rigidezza tra i due corpi	3
Possibilità di azioni concentrate trasmesse dall'elemento di collegamento	3
26 - Aggetti (vele, guglie, pinnacoli, statue)	
Presidi antisismici:	Efficacia
□ Presenza di perni di collegamento con la muratura o elementi di ritegno	-
□ Elementi di limitata importanza e dimensione	
☐ Muratura monolitica (a conci squadrtati o comunque di buona qualità)	2
Indicatori di vulnerabilità:	Gravità
☑ Elementi di elevata snellezza	2
□ Appoggio in falso sulle murature sottostanti in falso	
	_

# VI Les leçons architecturales de la mission

#### VI-1 L'intérêt d'une telle mission

C'est presque une tautologie, dans un rapport de mission de signaler l'intérêt de la dite mission.

Mais ce dont il faudrait parler pour être pertinent, c'est de l'utilité d'une mission postsismique "à froid".

En effet, la plupart des missions post-sismiques se déroulent "à chaud" dans les quelques semaines qui suivent un événement, avec des délais brefs et dans des situations de crise qui ne facilitent ni les déplacements, ni les visites des sites endommagés. Dans ces conditions, on ne peut faire que des constatations sommaires, des repérages préliminaires.

Ces missions sont bien sûr indispensables pour avoir un rapide retour d'expérience sur la situation et sur les bâtiments endommagés par un séisme (à ce sujet, un des membres de la mission, Marc Givry, avait pu se rendre à L'Aquila début mai 2009 peu après le séisme du 6 avril 2009, et il était présent en Émilie Romagne entre les deux secousses du 20 et du 29 mai 2012).

Mais on revient toujours à ce type de mission en ayant envie de revenir plus tard, au moins un an après, pour pouvoir approfondir les premières impressions et pouvoir vraiment tirer les leçons de l'évènement.

De ce point de vue, le voyage d'étude que nous avons effectué en 2013 s'est situé à une bonne distance temporelle de plusieurs événements :

- une année après les séismes d'Emilia-Romagna des 20 et 29 mai 2012,
- quatre années après le séisme de L'Aquila du 6 avril 2009,
- onze années après celui de Molise du 31 octobre 2002,
- seize années après celui d'Assisi du 26 septembre 1997.

Une année après un séisme en Emilie-Romagne et pour ce qui concerne uniquement les biens culturels, on peut se rendre compte de l'ampleur des dégâts qui ont touchés presque tous les monuments historiques du secteur, de l'ampleur des diagnostics qu'il a fallu réaliser et de l'ampleur des travaux de sécurisation des "bâtiments menaçant ruine" qu'il faut continuer de réaliser juste pour stabiliser et sauvegarder les éléments qui restent encore debout.





Mirandola une année après le séisme : Santo Maria Maggiore, un chantier de sécurisation des Vigili del Fuoco

Quatre années après un séisme à L'Aquila, on reste abasourdi par le foisonnement des confortements métalliques qui ceinturent presque tous les bâtiments du centre historique de la ville et on découvre toutefois quelques amorces de réhabilitation, très soigneusement faites, comme toujours en Italie lorsqu'il s'agit de patrimoine.









L'Aquila quatre années après le séisme : une forêt de confortements

Seize années après un séisme à Assise, on ne peut qu'être impressionné par le travail de renforcement parasismique et par la qualité des restaurations réalisés.





Assisi seize années après le séisme : une basilique "impeccable" et des dispositifs parasismques "extraordinaires" mis en place

Une année, quatre années, seize années, on peut trouver le temps long pour inventorier des dégâts, stabiliser des quasi-ruines, élaborer des projets de reconstitution et les réaliser.

Mais une année, quatre années, seize années, ce n'est pas grand-chose dans la vie de bâtiments qui ont plusieurs siècles d'existence.

Une année ce n'est pas grand-chose pour des bâtiments qui vous parlent à Mirandola en Emilie Romagne du projet humaniste de Pic de la Mirandole qui naquit ici en 1463.





Mirandola : le portrait de Pic de la Mirandole sur le Castello, son buste dans la Chiesa San Francisco

Quatre années ce n'est pas grand-chose aussi face aux 99 quartiers, 99 places, 99 églises et 99 fontaines que la légende attribue à L'Aquila. L'histoire rapporte en effet qu'au XIIIe siècle les 99 villages du Val de l'Aterno se réunirent pour fonder

"L'Aigle" sur un plateau désert. Et chacun eut son quartier, sa place, son église...

Avant le séisme, la "Fontana delle 99 cannelle" (construite en 1272 par l'architecte Tancredi da Pentima) et les 99 coups nocturnes de la cloche municipale perpétuaient le souvenir du chiffre symbolique.

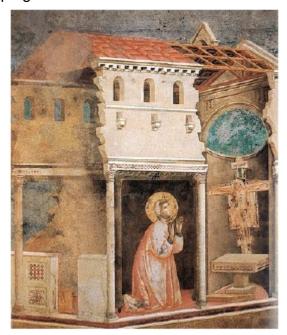




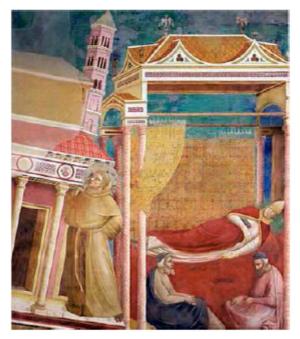


L'Aquila : la "Fontana delle 99 cannelle" en réfection après le séisme

Seize années ce n'est pas grand-chose face aux 28 fresques que Giotto di Bondone peignit à Assise entre 1182 et 1226.



4. Le Crucifix de Saint-Damien ordonne à François de réparer les ruines de l'église.



6. Le rêve d'Innocent III, voyant en songe François qui soutient l'église du Latran sur le point de s'écrouler.

Fresques de Giotto sur la vie de Saint François à Assise

Quand pour le génie parasismique on raisonne avec des périodes de retour de 475 ans, une année, quatre années ou seize années, ce n'est pas grand-chose. Et finalement, l'intérêt d'une telle mission ce serait peut-être de pouvoir explorer le temps.

#### VI-2 Forces et faiblesses

Si nous avons été particulièrement impressionnés par toutes les interventions réalisées postérieurement au séisme, nous avons aussi été frappés par la quasi inexistence de travaux de prévention avant.

Pour tout ce qui concerne les interventions d'urgence, les diagnostics, les confortements, les restaurations, on ne peut qu'adresser des louanges à nos amis italiens et recommander à nos amis français de s'inspirer de l'expérience italienne sur le sujet.

Mais sur le plan de la prévention du risque sismique pour les constructions historiques, on peut considérer que la France et l'Italie se retrouve à égalité, malheureusement à un niveau assez faible.

Dans les faits, peu de travaux préventifs ont été réalisés en Italie face au séisme. Et si dans le centre historique de L'Aquila ou dans le périmètre impacté d'Emilie Romagne, quasiment toutes les églises ont été gravement endommagées, cela peut sans doute se comprendre.

Pourtant, ce n'est pas une question de déshérence des biens ou de défaut d'entretien. Bien au contraire, toutes les églises endommagées étaient "en bon état apparent" et elles donnaient l'impression d'avoir été correctement entretenues.

Ce point de vue n'est pas très original et il a été aussi développé par nos amis italiens. Par exemple, lors d'un séminaire transfrontalier Alcotra, le professeur Stefano Podestà de l'université de Gènes avait présenté cet exemple de l'église Santa Maria di Tempera près de L'Aquila totalement restauré en juin 2008 et totalement ruiné en avril 2009.



L'Aquila : église de Santa Maria di Tempera avril 2009

Pour notre part, nous avons souvent pu faire des constatations équivalentes.

Par exemple, à Pieve di Quarantoli, l'église Santa Maria de la Neve, une église romane en brique du début du XIIIème siècle, était dans un état "impeccable" avant le séisme : ravalement réalisé, briques parfaitement jointoyées, charpente et couverture récente.

Malheureusement, elle a subi l'effondrement d'une partie du fronton et surtout d'un mur latéral droit. Effondrement n'est en fait pas le terme adéquat : il vaudrait mieux parler d'éboulement. Il y avait eu pourtant dans ce mur latéral deux tirants ancrés

pour tenir la façade principale, mais manifestement les tirants étaient trop courts et le mortier de liaison du mur en brique n'avait plus beaucoup de consistance





Pieve di Quarantoli : église de Santa Maria de la Neve

Cet exemple nous permet de parler de la première cause d'endommagement des bâtiments anciens sous sollicitations sismiques : l'absence de cohésion de maçonneries et l'absence des tirants et des chainages disposés suivant les trois directions. Un exemple évident de cette problématique est la tour de Modenesi à Finale Emilia qui ne s'est effondrée que sur une moitié verticale lors du séisme du 20 mai 2012 (bien sûr elle s'effondrera totalement lors du 2° séisme, le 29 mai 2012).



Finale Emilia: Torre dei Modenesi

Pour un bâtiment ayant plusieurs siècles, il est très fortement probable que les mortiers n'auront plus beaucoup de cohérence et si on souhaite faire de la conservation de monuments historiques en zone sismique on ne peut se contenter de ravaler des surfaces sans intervenir au cœur des maçonneries. A ce sujet, il existe des techniques d'injection de liant hydraulique superfluide ou de coulis de renforcement qui peuvent donner satisfaction.

Un deuxième point où la force et la faiblesse sautent aux yeux, c'est l'énorme différence dans les quantités d'acier qu'il faut employer pour mettre quelques tirants (avant le séisme) ou faire la « mise en sécurité » ou quelques confortements (après). A ce sujet, on pourrait presque paraphraser un dicton maritime concernant la couture

des voiles qui indique "qu'un point fait à temps en évite cent" par "un tirant posé à temps en évite cent".

A Mirandola, nous avons pu visiter une école, la Scuola Don Riccardo Adani qui avait été renforcée préventivement avec des tirants Dywidag dans deux directions et des ancrages de la charpente à la maçonnerie.

Par rapport à la plupart des bâtiments de même gabarit corsetés d'acier que nous avons pu voir, le contraste était saisissant. Sans même parler des ouvrages spectaculaires qui encadraient la plupart des monuments





Mirandola : quelques tirants préventifs dans la Scuola Don Riccardo Adani (occupée)





L'Aquila : quelques corsets curatifs sur des immeubles courants (inhabités et inhabitables





Mirandola : un ouvrage spectaculaire pour soutenir la Chiesa San Francisco (presque totalement effondrée)

Pour en revenir aux églises, nous avons pu constater qu'il y avait eu parfois des interventions de renforcement préventives sur des charpentes, mais elles n'étaient pas toujours allées assez loin.

Par exemple à Mirandola à la Chiesa San Francisco, nous avons vu très nettement le long des entraits des tirants métalliques rapportés ainsi que des étriers près des appuis. Mais ces dispositifs n'étaient pas ancrés à la maçonnerie et par ailleurs il n'y avait aucun dispositif de contreventement dans le plan horizontal qui aurait pu fonctionner sous séisme.

Nous avons vu par contre un tel dispositif de contreventement horizontal rapporté pour la basilique de Santa Maria di Collemaggio à L'Aquila. Et il y avait aussi de bons ancrages de la charpente sur la maçonnerie. L'ensemble semble avoir été utile puisque que la nef est restée debout alors que le transept s'est effondré





Mirandola, Chiesa San Francisco: anciens renforts de charpente





L'Aquila, Santa Maria di Collemaggio : contreventement horizontal de la charpente de la nef

En général, il n'est pas trop difficile d'intervenir entre la charpente et le sommet des voûtes, et on ne peut que recommander de faire un plan de contreventement à ce niveau, en liaisonnant fortement ce plan avec la maçonnerie. De la sorte, on peut permettre au bâtiment de fonctionner d'une manière plus globale et de solliciter les parties fortes pour aider les parties faibles.

Chercher le fort et le faible, c'était une recommandation de Vauban pour étudier les fortifications, ce pourrait être une devise pour défendre les Monuments Historiques en France.

# VI-3 Impérieuses réglementations ou culture partagée ?

Dans ce qui précède, nous avons vu que l'expérience italienne était particulièrement riche pour tout ce qui concerne les phases post-sismiques, mais que dans les phases amont, le volet prévention n'avait pas été des plus développé. Plus que rarissimes étaient les bâtiments historiques qui s'étaient bien comportés sous séisme et nous n'avons quasiment pas vu de bâtiment qui avait fait l'objet de confortement préventif.

Pourtant, la plupart des bâtiments qui ont été endommagés n'étaient pas à l'abandon, et bien souvent il y avait eu récemment des travaux d'aménagements consistants.

Par exemple, le Château d'Este, le plus grand monument de la ville de San Felice sul Panaro, construit en 1340, avait bénéficié de travaux récents pour pouvoir abriter l'exposition archéologique permanente Giuseppe Venturini et recevoir la biennale d'art contemporain Aldo Roncaglia. Sur le site Internet du bâtiment, avant le séisme on trouvait ceci : " Les récentes rénovations ont restauré l'ancienne splendeur de ce monument exceptionnel".

Pour notre part, nous avons trouvé un bâtiment très endommagé et qui avait fait l'objet de travaux de stabilisation post-sismiques (mise en sécurité) plus que conséquents : injections, scellement de câbles de précontrainte, cerclages... des travaux qu'il aurait sans doute été possible d'envisager avant.







San Felice sul Panaro : l'entrée du Château d'Este, lors de la biennale de 2010, et tel que notre mission a découvert

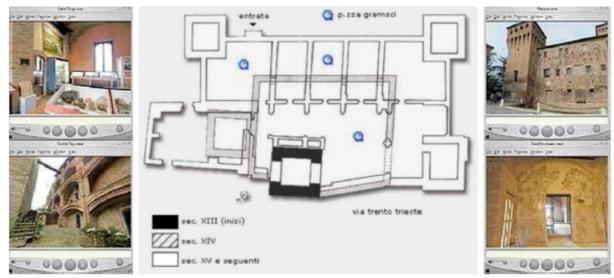






Des renforcements que l'on aurait peut-être pu faire avant le séisme

Cet exemple n'est pas isolé. A Finale Emilia, le Castello delle Roche, érigé en 1402 par la volonté de Nicolo III d'Este, avait lui aussi été l'objet de travaux récents qui s'étaient étalés de 2006 à 2011 pour un montant de 650 000 €. Il abritait le Museo Civico et, si sur le site Internet du musée, on peut encore y faire une visite virtuelle, la visite réelle des lieux partiellement ruinés n'est plus de même type.



Finale Emilia, Castello delle Rocche: visite virtuelle du Museo Civico



Finale Emilia, Castello delle Rocche: visite réelle du Museo Civico

Au vu de ces exemples, on pourrait se demander d'une part quels sont les mécanismes psychologiques qui font occulter à ce point le risque sismique, et d'autre part quels sont les démarches qu'il faudrait promouvoir face à cet état de fait.

Les psychologues parlent souvent de dissonance cognitive lorsqu'on ne croit pas ce que l'on sait pourtant. Dans notre société contemporaine l'exemple type de cette dissonance est la mention "fumer tue" que l'on trouve sur tous les paquets de cigarettes...et qui n'empêche guère de fumer.

Transposé au risque sismique, cela pourrait être "les séismes existent" que l'on écrirait sur les bâtiments (ou dans les règlements). A ce sujet on doit signaler que les architectes qui s'occupent de monuments historiques s'inscrivent dans une histoire longue et sont réputés ne pas avoir la mémoire courte.

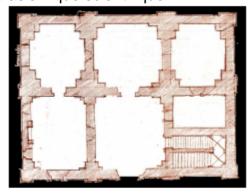
Par exemple, en Emilie Romagne dans les milieux cultivés soucieux de biens culturels, on sait qu'il y a eu des séismes ayant endommagés des bâtiments en 1249, 1346, 1365, 1501, 1505, 1547, 1561, 1570, 1624, 1688...

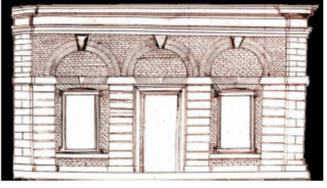
Dans les milieux de l'architecture, Ferrare est une ville célèbre à cause du livre de Bruno Zevi "Sapere vedere l'urbanistica - Ferrara di Biagio Rossetti, la prima città moderna europea" ("Apprendre à voir l'urbanisme - Ferrare de Biagio Rossetti, la première cité moderne d'Europe").

Mais elle est aussi célèbre pour le premier traité d'ingénierie parasismique, écrit-en 1571 par l'architecte Pirro Ligorio : le Libro di diversi terremoti (Le livre des divers tremblements de terre) qui est conservé aux archives de Turin. Pirro Ligorio est connu pour son chef d'oeuvre, les jeux d'eau de la Villa d'Este réalisé pour le cardinal Hippolite d'Este. Successeur de Michel-Ange sur le chantier de Saint Pierre de Rome il sera congédié par le pape Paul V et partira à Ferrare en 1568 comme invité du duc Alphonse II d'Este.

Autoportrait de Pirro Ligorio

Après le tremblement de terre de 1570, il sera nommé responsable d'un groupe d'étude composé de scientifiques, de philosophes et d'experts "en accidents variés". On ne parlait pas encore à l'époque de mission post-sismique mais le travail réalisé est quasiment de même type : inventaire des dégâts, analyses, recommandations constructives. Dans la dernière partie du traité, Rimedi contra terremoti per la sicurezza deglis edifici (Remède contre les tremblements de terre pour la sécurité des édifices), Pirro Ligorio présente des plans de conception pour un bâtiment résistant, des plans que l'on considère comme le premier dessin connu d'approche parasismique scientifique.





Plan et élévation extrait de Rimedi contra terremoti per la sicurezza deglis edifici (Pirro Ligorio 1571) Dans ces plans, l'accent est mis sur le bon dimensionnement des murs principaux, le renforcement des angles, la qualité des matériaux, les barres de fer de chaînage...

Sans revenir sur les mécanismes psychologiques qui nous font occulter ce qui nous dérange, des mécanismes que les psychologues ne manquent pas d'étudier ("ce n'est pas pour moi", "ce n'est pas pour tout de suite", "c'est très faiblement probable", "je fais comme tout le monde" ou "je ne suis pas pire que les autres"...), on peut se demander ce qu'il faudrait faire pour réduire cette dissonance cognitive qui frappe les bâtiments soumis aux séismes.

Pour cela deux démarches peuvent s'envisager : la voie de la coercition ou la voie de la compréhension.

La voie de la coercition (parce que l'homme n'est pas spontanément bon et qu'il ne le devient que quand il craint Dieu... ou l'État) conduirait à produire des règles, des normes, des obligations, avec le système de contrôle et de châtiment qui se doit d'accompagner tout règlement.

Mais cette voie nous semble peu appropriée, les monuments historiques et les biens culturels se prêtant forts mal à la normalisation. Quelles normes d'ailleurs faudrait-il produire? Et comment normaliser des bâtiments originaux sans les dénaturer? La voie de la compréhension nous semble de loin préférable, et ce pour deux raisons principales :

- ➤ Tout d'abord, si on peut difficilement envisager de normaliser totalement un bâtiment existant par rapport à une règle élaborée pour des projets neufs, on sait quand même réduire des vulnérabilités, ou améliorer des résistances.
- ➤ En deuxième lieu, on doit signaler que dans le milieu des monuments historiques, les personnes qui concourent à la protection de notre patrimoine se situent plutôt dans une logique de conservation.

Le propos étant de protéger "pour les siècles des siècles" des biens que l'histoire nous a légués, l'idée d'éviter que ces biens ne s'effondrent lors du prochain séisme (un séisme historiquement inéluctable à l'échelle du temps de conservation de ces biens) est sans doute une idée qui ne devrait pas être trop difficile à faire passer auprès de gens intelligents, curieux, cultivés et soucieux autant du passé que de l'avenir de ce passé.

Dans le domaine des Monuments Historiques, plutôt que de fabriquer d'impérieuses réglementations, difficilement suivies d'effet, peut-être pourrions-nous essayer de construire une culture et des références communes.

En matière de génie parasismique pour améliorer nos connaissances, on fait parfois des expérimentations avec des modèles réduits sur des tables vibrantes. Mais on peut aussi considérer un "vrai séisme" comme une expérience à l'échelle un qui touche (malheureusement) des centaines voire des milliers de bâtiments.

Pour toutes ces raisons, nous pensons que les "expériences italiennes" sont pour nous des contributions très précieuses qu'il faudrait largement diffuser.

# VII. Retour d'expérience

# VII-1. Les séquences d'endommagement : causes et conséquences

A partir des situations regroupées dans « Lignes Guide » (chapitre V.1), on détail ciaprès les cause et les conséquences d'endommagements.

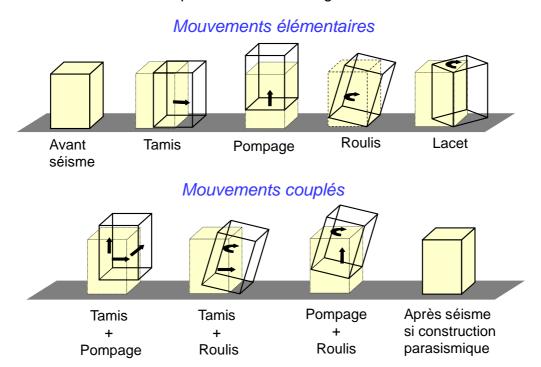


Fig. VII-1.1 Mouvements décomposés et couplés pendant le séisme

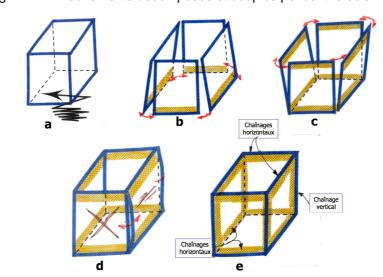


Fig. VII-1.2 Le bon comportement d'un bâtiment sous l'action sismique dépend de la qualité des liaisons suivant les trois directions et autour des ouvertures : (a) l'action sismique arrive sous le bâtiment, (b) en cas de manque de liaisons (chaînages) horizontales en pied du bâtiment il aur la tendance de s'ouvrir, (c) l'action sismique arrive au sommet du bâtiment qui nécessite aussi un chaînage périmétrique de « fermeture », (d) les chainages verticaux seront mis en place pour permettre un fonctionnement en « panneaux », (e) finalement les chainages suivant les 3 directions assurent un fonctionnement global du bâtiment.

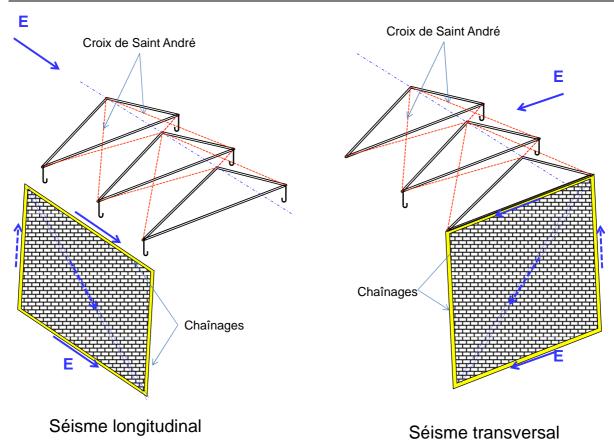


Fig. VII-1.3 Transmission de l'action sismique en cas de présence des croix de Saint André en torture pour former un diaphragme rigide et indéformable en plan

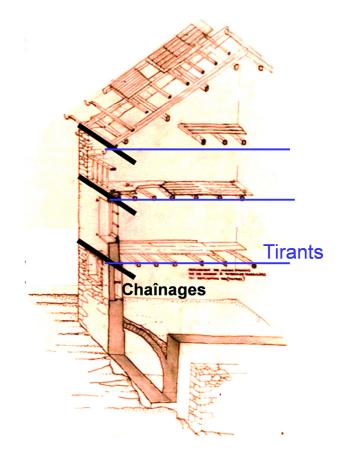
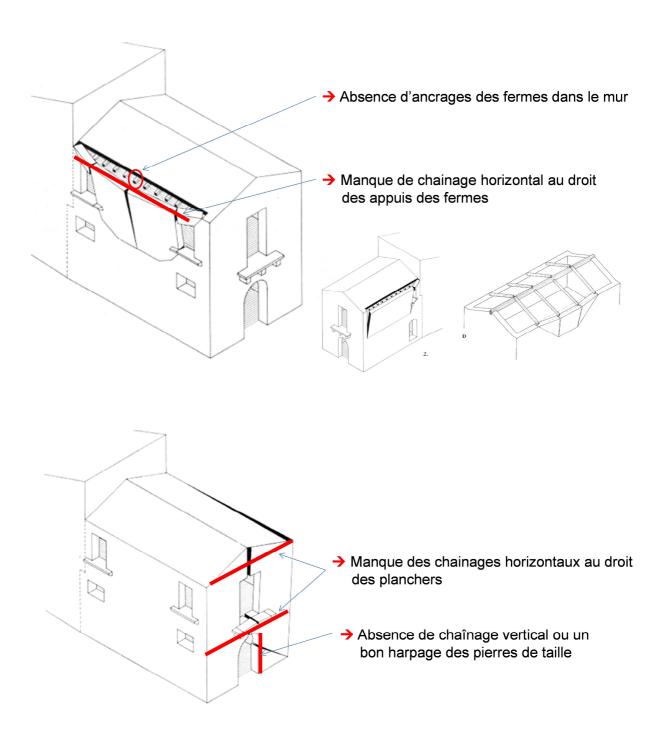
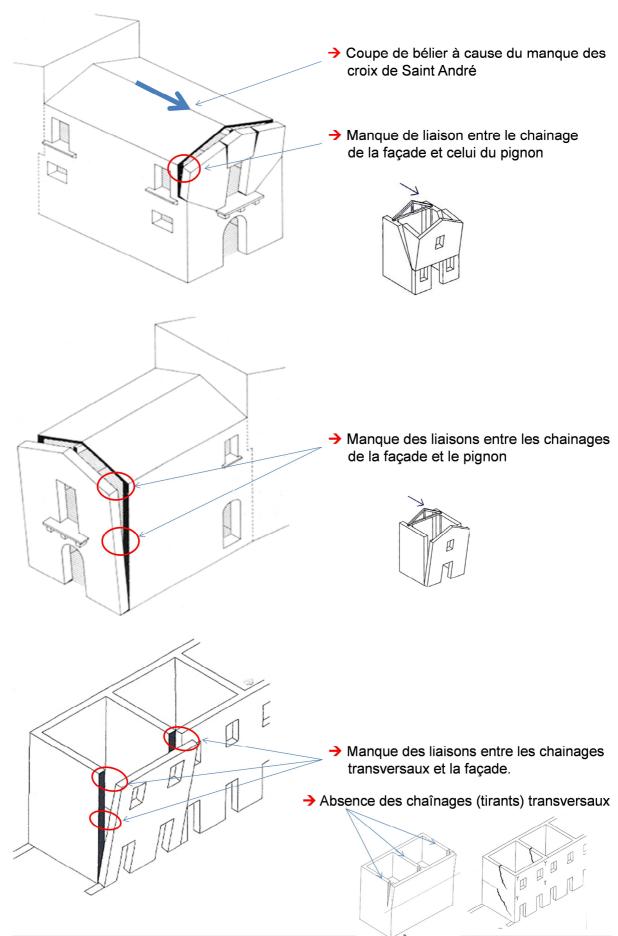
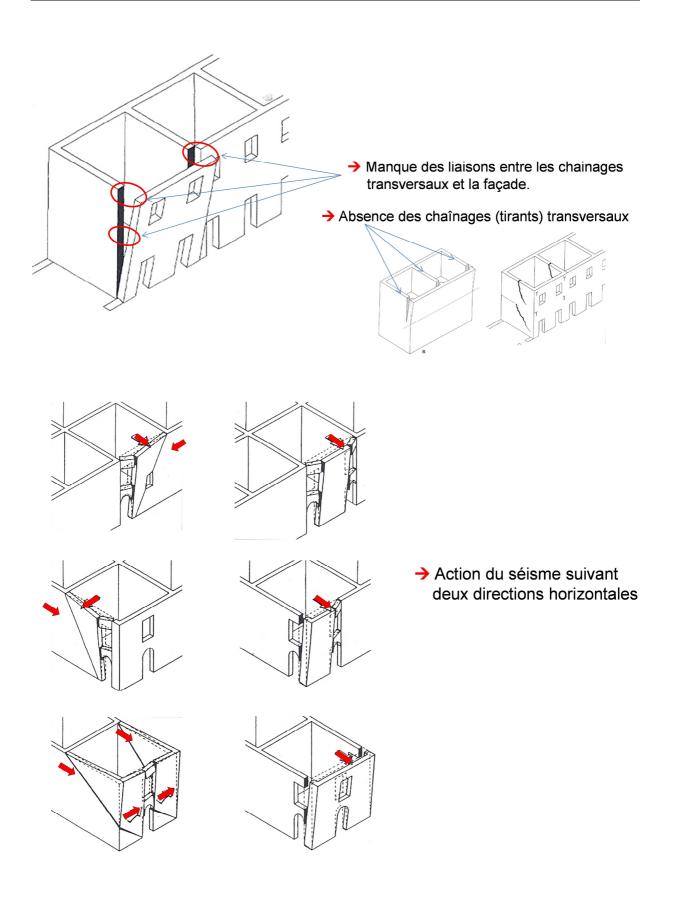


Fig. VII-1.4 Dans le cas du plancher disposé parallèlement à la façade pour assurer la stabilité au séisme du bâtiment il faut prévoir des chainages suivant les deux directions horizontales et à chaque niveau

## Causes d'endommagements







#### VII-2. Conclusions

Finalement, deux aspects intimement liés peuvent expliquer l'ampleur de l'endommagement des monuments historiques :

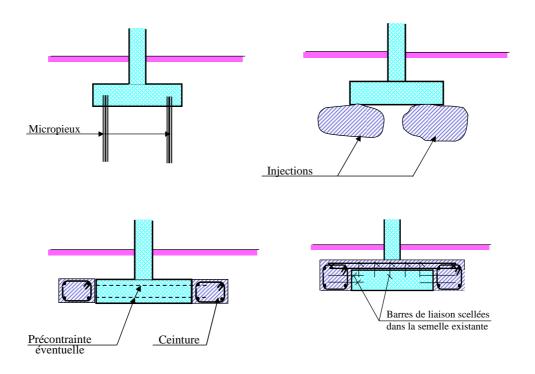
- → L'Italie recèle une énorme richesse en monuments historiques et l'entretien du gros œuvre n'était probablement pas une priorité.
- → L'Italie toute entière se trouve en zone à risque sismique.

La convolution de ces deux aspects, complétée par la non permanence d'une réhabilitation du patrimoine et l'éventuelle modification de l'ouvrage, peuvent entraîner des dégradations importantes pouvant aller jusqu'à la ruine du monument historique.

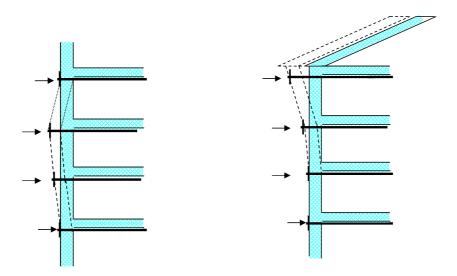
Les conclusions de cette importante mission se sont imposées après les trois premiers jours d'investigation en Emilia-Romagna et confirmées par la suite lors des visites des autres sites.

Pour pouvoir agir sans dénaturer l'ouvrage et quelle que soit sa position, isolée ou dans un îlot, la réhabilitation d'un MH passe par les étapes suivantes,:

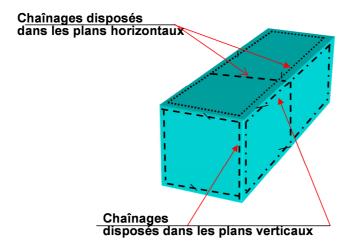
Examiner la qualité du sol et le type de fondations ; envisager, si nécessaire, leur renforcement par injections ou par micropieux,



Rendre les murs et les pilastres (poteaux) porteurs homogènes et capables de transférer aussi bien les charges verticales que le chargement sismique,



➤ Introduire des tirants-chaînages suivant les 3 directions dans les plans verticaux des murs et dans les plans horizontaux surtout en-dessous de la charpente de la toiture,



- > Refaire les voûtes et, si nécessaire, les sous-tendre,
- Conférer à la charpente-toiture un fonctionnement en diaphragme parfaitement relié à la structure porteuse,

L'important c'est que chaque étape soit bien réfléchie et exécutée au bon endroit.

# Qu'aurait-il fallu faire pour éviter l'endommagement des Monuments Historiques ?

# La prévention

- Faire entrer les travaux de gros œuvre dans le cadre de l'entretien courant du patrimoine;
- S'assurer régulièrement de la bonne tenue des bâtiments et spécialement de :
  - o l'homogénéité des murs,
  - o la pérennité des liaisons, chaînages, tirants,
  - o l'existence de liaisons efficaces : charpentes murs.
- S'assurer du bon usage des budgets alloués au patrimoine culturel et historique.
- Les missions post-sismiques ou d'analyse de la vulnérabilité des monuments historiques devront comporter des spécialistes des M H disposant des documents (fiches) adaptés à ce type d'ouvrages.

Il faudra probablement redéfinir la notion de « bien culturel ». Définir, entre autre, ce que cela recouvre en Italie et en France.

S'inscrire dans la démarche de « développement durable » avec nécessité de tenir compte du devoir de mémoire et de la pérennisation du patrimoine.

Aborder aussi l'aspect de la cohésion sociale qui existe autour d'un bâtiment historique.

En France, la prise en compte de la nécessité de réhabilitation du gros œuvre des monuments historiques se fait quand l'endommagement est visible et encore...!

Pour assurer la continuité de cette mission en France, il est vivement souhaité d'analyser en première approche les monuments historiques situés dans deux sites prioritaires : Cagnes-sur-Mer (André Laurenti) et Grenoble (Marc Givry)

# VIII. Etudes de cas de réparation-renforcement

Les exemples des réparations-renforcements présentés ci-dessous sont extraits du retour d'expérience en France de la société Freyssinet.

## VIII.1 Renforcement général

#### VIII.1.1 Eglise Saint Michel, Le Caire (04)

L'Eglise Saint Michel est située sur un promontoire rocheux. C'est un bâtiment construit au 17<sup>ème</sup> siècle sur l'emplacement d'un édifice préexistant.

Les tassements des murs périphériques et du dallage entraînent des fissures de l'ordre de 2 cm dans les maçonneries.

Freyssinet a procédé à la démolition des sols existants, au confortement par tirants composés de câbles du corps principal du bâtiment.

Les câbles en mono torons gainés cirés ont été disposés dans la dalle BA neuve pour le niveau inférieur et au droit des naissances de voûtes. Les dispositifs d'ancrage ont été dissimulés dans des niches, réalisées à partir des nus extérieurs de maçonneries,

Les assises des murs sur le rocher ont été renforcées par massifs scellés, la dalle connectée aux murs et poteaux maçonnés.



L'intérieur après pose des tirants



Face Sud de l'égise



L'intérieur de l'édifice après renforcement et rénovation



La face Nord , travaux de confortement , percement et réalisation des niches dans la maçonneries

#### VIII.2 Reprise en sous-œuvre et stabilisation générale

#### VIII.2.1 Eglise de Reumont (59)

L'Eglise, construite en briques et en pierres, présentait de nombreuses pathologies : affaissement des fondations, déformations angulaires (écartement des façades). Son clocher en pierre, construit il y a 360 ans, vestige de l'Eglise détruite et dont la masse de 300 tonnes était exposée aux vents, était gravement fissuré et hors d'aplomb.

Le tassement non stabilisé, risquait d'aggraver les désordres constatés dans la nef.

Les travaux ont consisté à reprendre en sous-œuvre l'ensemble de la tour du clocher, par 30 micropieux, longrines, empochements et radier béton armé. Les voûtes du vaisseau central de la nef et les huit piliers ont été stabilisés et consolidés par la mise en œuvre de câbles,









## VIII.2.2 Eglise Saint Lucien à Folies (80)

L'Eglise a subi de nombreuses dégradations consécutives à des tassements de fondations. De nombreuses fractures ont conduit notamment à la destruction partielle du clocher.

La reprise en sous-œuvre a été effectuée par 78 micropieux type III Æ 200 mm. Les charges reprises par micropieux sont de 16 à 29 tonnes pour des profondeurs de 16 à 19 m.







#### VIII.2.3 Clocher de l'église Saint de Barly (80)

Le clocher de l'église de Barly a été édifié au 14ème siècle. Dans le courant de l'année 2001, plusieurs effondrements sont survenus en périphérie immédiate du clocher. Les affaissements brutaux ont provoqué un devers du clocher côté ouest et la rupture de canalisations d'eau potable et d'eaux pluviales.

Consolidation du sol et des fondations du clocher de l'église a été obtenue par la réalisation de 32 micropieux de 30 ml à l'intérieur et extérieur du clocher.

Terrassement, ferraillage, coffrage et coulage de barrettes en béton armé (≈ 30 m3) reposant sur les micropieux. Injection de coulis dans la maçonnerie périphérique du clocher sur 1 ml de hauteur en partie basse. Forage du terrain et remplissage gravitaire pour comblement de vides francs + traitement barrages sur la périphérie du clocher ayant subi des fontis (≈ 500 m² concernés)..







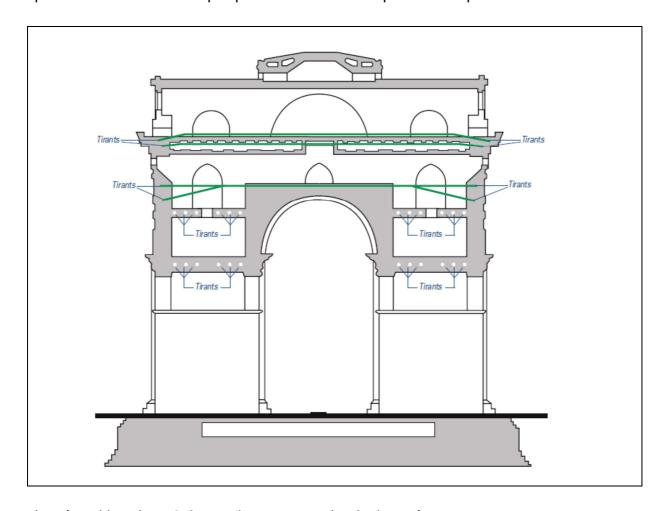
#### VIII.3 Précontrainte additionnelle

#### VIII.3.1 Arc de Triomphe, Paris

A la suite de chutes de pierres de la voûte et de la façade de l'Arc de Triomphe et après divers examens, il a été constaté que l'ouvrage souffrait de tassements de ses fondations qui provoquaient un mouvement hélicoïdal de la pile nord-ouest. Les fondations faites de blocs avaient bougé à la suite à la dégradation des joints due aux eaux de pluie.

La précontrainte additionnelle est réalisée à l'intérieur de la structure permettant de recomprimer les zones fracturées et de recentrer les efforts obliques engendrés par la poussée des voutes.

Cette précontrainte additionnelle est réalisée par des tirants ancrés dans les parements et raccordés par paires en leur milieu par des coupleurs actifs.



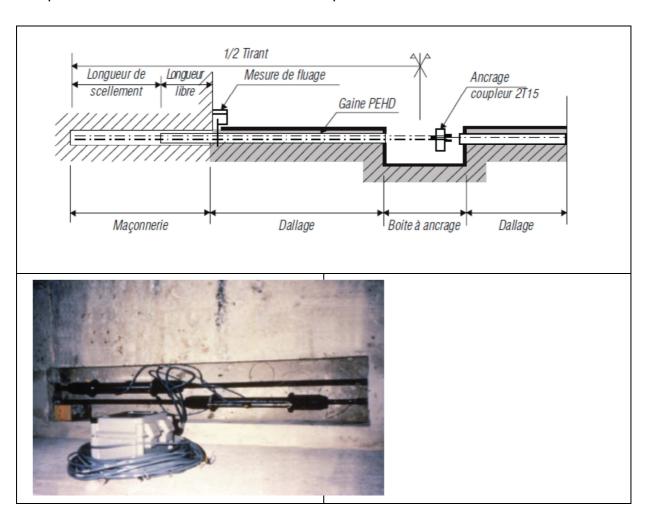
La répartition des 56 tirants tient compte de plusieurs facteurs :

- le rééquilibrage des contraintes qui nécessite 4 étages de tirants dans le sens du petit côté et 2 étages suivant le grand côté.
- la présence d'équipement existant à l'intérieur de l'ouvrage.

- ➤ le phasage des travaux, la mise en tension devant pouvoir se faire de manière progressive, afin d'équilibrer les efforts à répartir.
- la possibilité de réglages ultérieurs des efforts dans les tirants,
- l'esthétique finale du renforcement compatible avec le cadre de l'édifice.

Chaque tirant est réalisé en 2 parties symétriques comprenant chacune 3 zones.

- 1. La zone d'ancrage située à l'intérieur des maçonneries permettant d'ancrer l'effort de précontrainte au voisinage du parement extérieur.
- 2. La zone de tension située dans une réservation de maçonnerie au milieu du tirant permettant le raccordement et la mise en tension du tirant.
- 3. Les zones libres situées entre les ancrages de maçonnerie et le coupleur central permettant la transmission de l'effort de précontrainte.



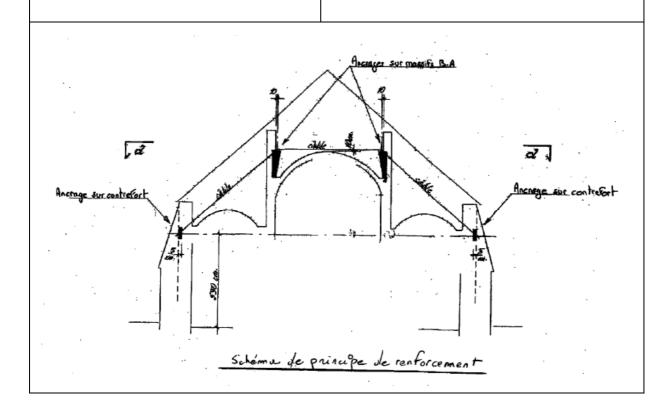
#### VIII.3.2 Eglise Saint Martin, Batilly-en-Gâtinais (45)

Construite au XIII siècle, l'église Saint Martin est menacée par un phénomène de poussées de voûtes provocant un écartement des murs de contrefort et mettant en péril la stabilité du monument.

Les travaux de renforcement ont consisté à reprendre cette poussée de voûtes à l'aide d'une précontrainte additionnelle par torons gainés graissés reliant les 2 contreforts. Cette précontrainte a été conçue avec des déviateurs spécifiques afin d'éviter la mise en place de tirants horizontaux visibles sous les voûtes et préserver ainsi l'esthétique. Les ancrages sur contrefort sont également invisibles par l'utilisation de barres de précontrainte Freyssibar scellées.

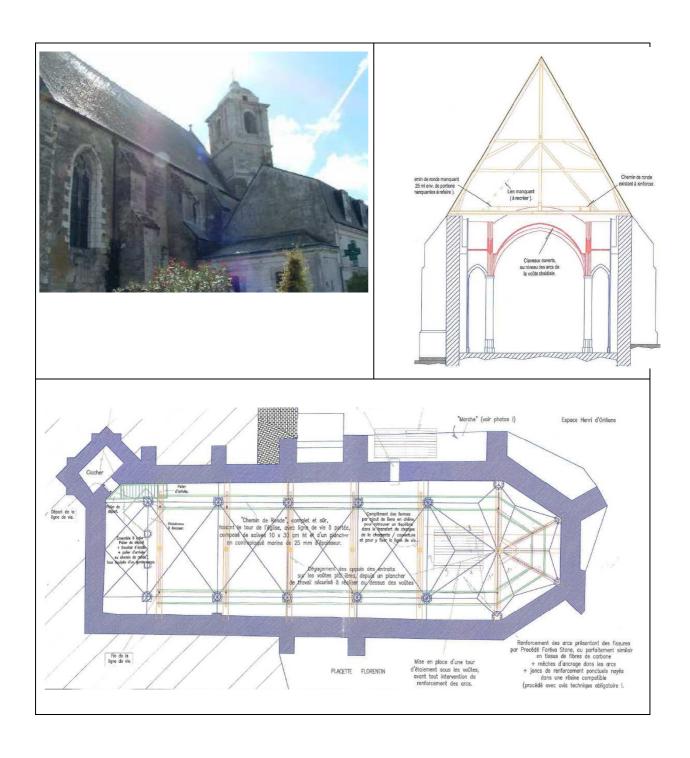


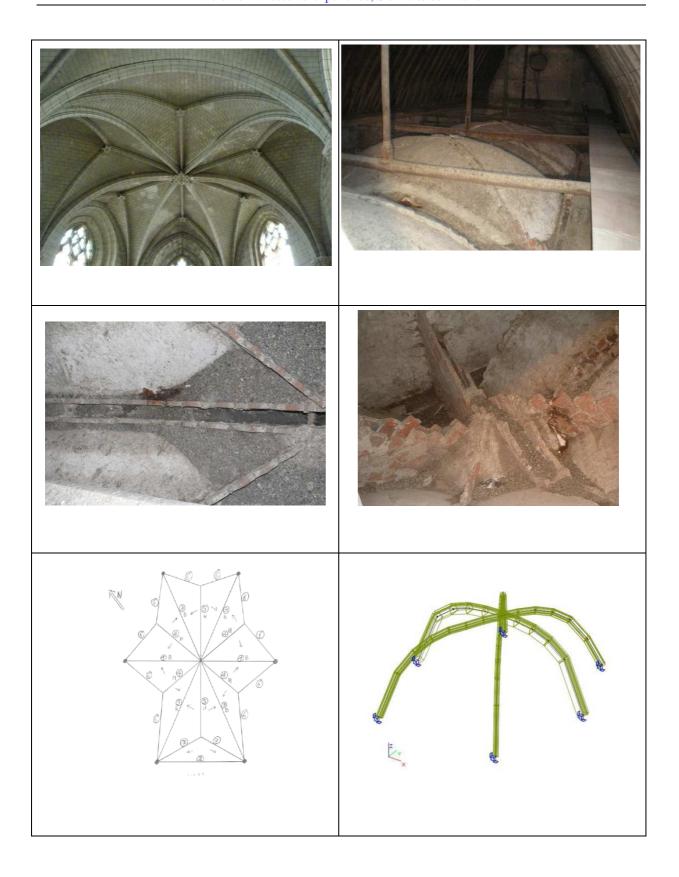


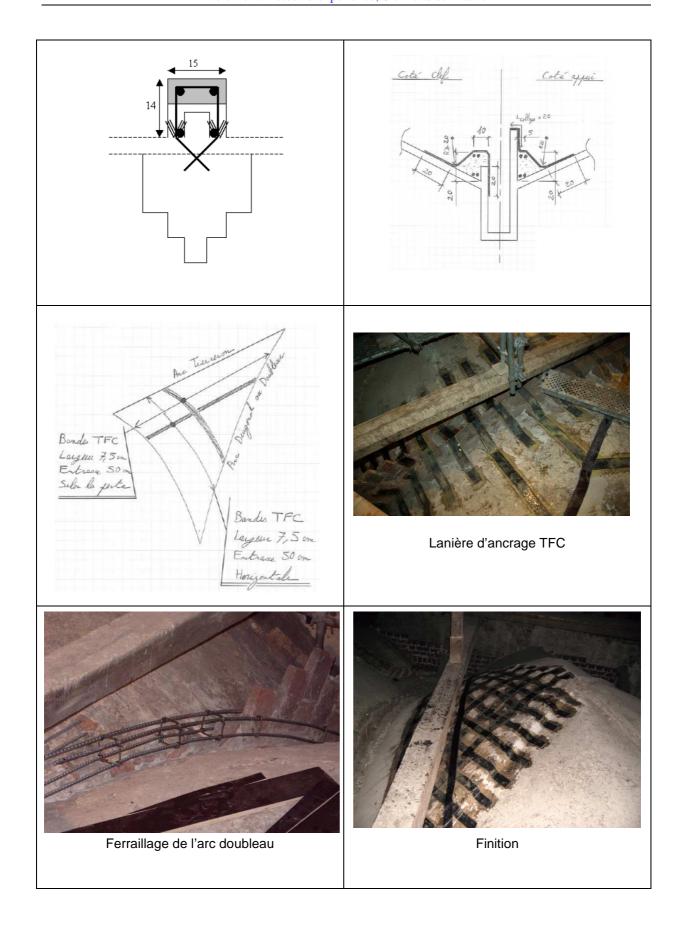


#### VIII.4 Renforcement des voûtes

# VIII.4.1 Eglise de Saint Florentin - Amboise







#### VIII.5 Introduction des chainages horizontaux

#### VIII.5.1Eglise Saint Pierre à Foulognes (14)

L'Eglise Saint Pierre a été édifiée au XIIème siècle. Elle est inscrite aux monuments historiques depuis 1927.

Le clocher, construit par un appareillage de pierres en épi, présente sur deux pignons en vis à vis, deux fissures traversantes verticales d'environ 6 ml.

La stabilité du clocher ne sont plus assurés

Il s'agit de créer des tirants horizontaux par scellements à la résine époxydique de joncs de fibres de carbone dans l'épaisseur de la maçonnerie au droit des fissures.

L'ensemble de ce système de renforcement mis-en-œuvre est rendu totalement invisible une fois les fissures comblées et les empochements en extrémités de forages rebouchés.







## VIII.6 - Béton projeté

## Renforcement d'un escalier hélicoïdal en maçonnerie - Grasse

Renforcement de l'escalier par mise en œuvre de béton projeté par voie sèche :

- préparation de la surface par sablage
- mise en œuvre d'un ferraillage en sous face et scellement dans les murs et dans l'escalier



Ferraillage en sous face d'escalier avant projection du béton par voie sèche



Résultat final : sous face d'escalier renforcée en béton projeté

#### VIII.7 Réparation - Renforcement des éléments décoratifs

#### VIII.7.1 Eglise Sacre Cœur – Lille

L'église Sacré Cœur à Lille avait été bâtie en deux temps : le corps de l'église en pierres et briques en 1870 puis le clocher en béton armé après 1914.

L'église avait résisté durant près d'un siècle mais une croix en pierre avait chuté en 2004 à la sortie d'une messe et imposait donc une mise en sécurité urgente de l'église.







Abat-sons

Colonnettes et têtes de colonnes





Garde-corps

Gargouilles









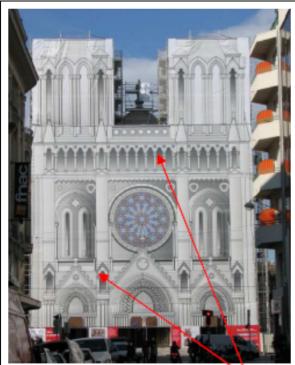
#### VIII.7.2 Basilique Notre Dame de l'Assomption, Nice

Basilique construite vers 1875 située sur l'avenue Jean Médecin. Structure : pierre dure dite de La Turbie. Éléments d'ornements : pierre « tendre ».

Lors des travaux de réfection des façades, la dégradation avancée de la pierre « tendre » constituant les colonnes d'ornement a été révélée au cours de l'opération d'hydro-gommage

Confortement des colonnes par :

- frettage du fût de colonne : pose de cerces composées de bandes de TFC,
- ancrages en façade, dans les pierres dures, des pierres supportées par les colonnes et suspension des chapiteaux, scellement de joncs de carbone,
- réalisation de dés d'appuis en micro béton de résine, scellés dans la façade porteuse



Colonnes d'ornement



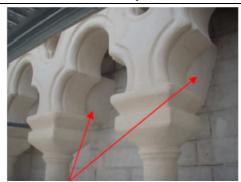
Frettage colonnes : bandes de Tissu de Fibre de Carbone



Ancrage des pierres supportées par colonnes : scellement de joncs carbone



Après travaux : enduit en cours



Après travaux : corbeaux en béton de résine enduits

# 1. SISMICITE d'ITALIE

## 1.1 Sismicité historique

#### Contexte géodynamique des régions visitées

Avec la Grèce, l'Italie représente le pays où le risque sismique est le plus élevé d'Europe. Depuis 1997 ce pays a été frappé par plusieurs événements destructeurs marquants, qui ont affecté les régions d'Ombria et de Marche en septembre 1997, de Molise et des Puglia en 2002, des Abruzzes en avril 2009 et enfin d'Emilia Romagna en mai 2012.

La plupart de ces événements ont eu lieu dans les Apennins, ou bien en bordure de ce qui représente l'axe montagneux principal de l'Italie. Cette longue chaîne peu élevée qui s'étire sur environ 1 200 km du nord au sud, est géologiquement complexe, formée d'un côté par la subduction de la micro-plaque Italo-Adriatique sous les Apennins et de l'autre par le rapprochement de l'Afrique.

Cette prise en étau est également animée par la rotation de la micro-plaque adriatique. Ce contexte globalement en raccourcissement entraînent malgré tout une extension NE-SW tout le long des Apennins, croissant de 2,5 mm/an dans le nord, à 4-5 mm/an dans sa partie sud de cette chaîne (1).

Depuis environ 5 millions d'années, le « gonflement » de la chaîne Apennine engendre un mouvement tectonique en extension qui favorise le fonctionnement de failles normales, de grabens et de bassins, alors qu'à sa base, au front de la chaîne, le mouvement est en compression générant plutôt des failles inverses.

C'est précisément au front de la chaîne que se sont produits les deux tremblements de terre d'Emilia Romagna, sur des chevauchements les plus au nord, totalement masqués sous la plaine de Pô (3), et par conséquent sans expression en surface.

Ces tremblements de terre se sont produits selon l'INGV, sur des plans de failles orientés approximativement est-ouest avec un mouvement de compression nord-sud.

Plus au sud, à l'Aquila dans la région des Abruzzes, c'est l'étirement de la chaîne de montagnes des Apennins, qui sous leur propre poids, se fracturent en failles normales et qui est à l'origine du séisme meurtrier de 2009.

Ce tremblement de terre de magnitude MI 5,8 (source INGV) - Mw 6.2 à 6.3 (sources CSEM, USGS, GEOSCOPE) est survenu dans la nuit du 5 au 6 Avril 2009 et dont l'épicentre a été localisé à proximité de la ville de l'Aquila. Les mécanismes au foyer montrent selon les mêmes sources, un jeu en extension sur une faille de direction nord-ouest / sud-est (5).

Il en est de même pour la crise de l'Umbria-Marche en 1997 à une centaine de kilomètres au nord-ouest de l'Aquila. Ces deux régions ont été frappées par un tremblement de terre de magnitude 6.1 accompagné par six événements de magnitude supérieure ou égale à 5.0.

Ce séisme et ses répliques se sont produits sur le même type de failles normales orientées Nord-ouest - sud-est (3).

C'est toujours ce phénomène d'étirement qui est responsable du tremblement de terre de San Giuliano di Puglia le 31 Octobre 2002 (magnitude Mw 5.7) et qui a été ressenti sur un vaste territoire de l'Italie centro-méridionale, causant d'importants dommages sur une petite zone située entre les chefs-lieux des provinces de Campobasso et Foggia. Plus de 1900 événements de magnitude comprise entre 2,0 et 4,2 ml, répartis principalement sur une longueur de 15 km, ont été relevés sur un système de failles orientées est-ouest.

C'est probablement cette même cinématique qui serait à l'origine des tremblements de terre historiques de Verona en 1117, de Firenze en 1453 et de Siena en 1798.

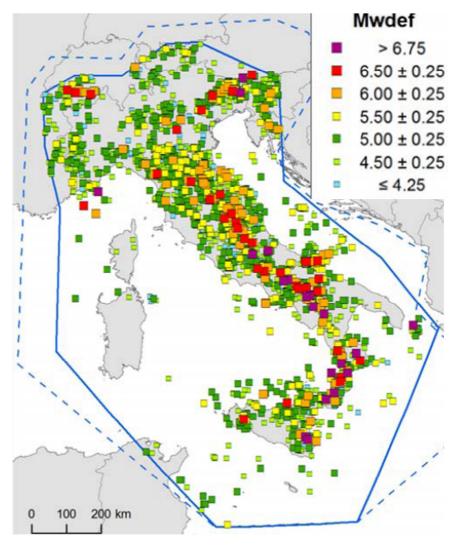


Fig. 1.1-1 TERREMOTI ITALIANI: 1000 - 2006

Tout en bas de la péninsule italienne, la véritable épine dorsale des Apennins tombe dans la mer à l'extrémité de la Calabre un territoire qui a été le théâtre de puissants séismes dans le passé et classé en zone 1.

Vers le sud-est dans la région de Puglia, la plaine argilo sableuse de Tavolière s'interpose entre les Apennins et les plateaux du Gargano, suivie par les plateaux calcaires des Murge (400 m) et du Salentino (200 m) qui termine le talon de la botte faiblement sismique et classé en zone 4.

#### **Sources**

- 1. Document public « Réalisation d'un zonage sismique de la Méditerranée occidentale à 1/2 000 000 préalable aux choix de scénarios de tsunamis » Rapport intermédiaire BRGM/RP 55353-FR Mai 2007
- 2. Le Monde.fr « Pourquoi l'Italie tremble-t-elle autant ? » 29 mai 2012
- 3. Scotti Oona : Séisme de l'Emilia Romagna (Italie du Nord) Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (I.R.S.N.) version 2 du 22 mai 2012
- 4. C.E.A. Dossier scientifique « séisme du 6 avril, région des Abruzzes (Italie Centrale) »
  - http://www-dase.cea.fr/actu /dossiers\_scientifiques/2009-04-06/index.html
- 5. Institut de Physique du Globe de Paris « le séisme des Abruzzes http://www.ipgp.fr/pages/02170402.php?version=print

# 1.2 Sismicité règlementaire



Presidenza del Consiglio dei Ministri

#### Dipartimento della protezione civile

Ufficio prevenzione, valutazione e mitigazione del rischio sismico e attività ed opere post-emergenza

#### Classificazione sismica al 2006

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.

Atti di recepimento al 31 dicembre 2007. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447.

Emilia Romagna: DGR 21/7/03, n. 1435. Friuli Venezia Giulia: DGR 1/8/03, n. 2325. Lazio: DGR 1/8/03, n. 766. Liguria: DGR 16/5/03, n. 530. Lombardia: DGR 7/11/03, n. 14964.

Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: LR 20/5/04, n. 13. Piemonte: DGR 17/11/03, n. 61/11017. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31.

Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 16/6/03, n. 604. Trentino Alto Adige: Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 23/10/03, n. 2813. Umbria: DGR 18/6/03, n. 852.

Veneto: DCR 3/12/03, n. 67. Valle d'Aosta: DGR 30/12/03, n. 5130.

