



Universidad Politécnica de Cataluña

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica

*Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante
análisis estático no lineal: Aplicación a diversos
escenarios sísmicos de Barcelona*

Tesis Doctoral por:

Rosangel Moreno González

Directores de Tesis:

Prof. Lluís Pujades B.
Prof. Angel C. Aparicio B.

Barcelona, 2006

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica
Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural

**Evaluación del riesgo sísmico en edificios
mediante análisis estático no lineal:
Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona**

Memoria presentada para optar
por el título de Doctora Ingeniera

Por: Rosangel Moreno González
Ingeniera Civil
Máster en Ingeniería Estructural y Mecánica
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Diploma de Estudios Avanzados en Mecánica
de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Directores: Prof. Lluís Pujades B.
Doctor en Ciencias Físicas

Prof. Ángel C. Aparicio B.
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL ES
EL ARTE DE USAR MATERIALES
cuyas propiedades sólo pueden ser estimadas
PARA CONSTRUIR ESTRUCTURAS REALES
que sólo pueden ser analizadas aproximadamente
PARA SOSTENER FUERZAS
que no son conocidas con exactitud
DE MODO QUE NUESTRA RESPONSABILIDAD CON RESPECTO A
LA SEGURIDAD PÚBLICA SEA SATISFECHA.

Anónimo.

Agradecimientos

Ante todo agradezco a Dios por haberme dado, entre otras tantas cosas, salud para llevar a cabo los estudios de doctorado. Agradezco a mis padres (Macrina y Rubén) por haberme dado la oportunidad de estudiar y por su inestimable apoyo y aliento que siempre me han brindado. A mi esposo, Jesús Bairán, por su confianza y paciencia, por sus valiosas opiniones y por las horas de desvelo que tuvimos juntos apoyándonos el uno en el otro para terminar el doctorado. Gracias por hacer que esta etapa de mi vida haya sido más fácil de culminar.

Estoy profundamente agradecida con las siguientes personas que me han asesorado, me han procurado información y algunas han leído y me han ayudado a corregir la tesis, en especial a mis directores, el Prof. Lluís Pujades y el Prof. Ángel Aparicio, por las horas de dedicación y consulta, por la orientación, el apoyo y el ánimo que siempre me han brindado.

Deseo expresar mi agradecimiento a los profesores: J.M. Canet, A. Barbat, por recibirme y orientarme al llegar a esta universidad, Francisco López-Almansa y José Canas por los ánimos y opiniones que me han dado. A Alex Barbat por las horas de consultas brindadas durante el desarrollo del proyecto RISK-UE, por sus consejos y la confianza que me ha dado. También agradezco a los investigadores del Instituto Cartográfico de Cataluña: Janira Irizarri, Xavier Goula, Antonio Roca y Teresa Susagna.

Estoy muy agradecida con el Ing. Vicente Alegre por su confianza y amistad,

y por la gran información suministrada para el desarrollo de ésta tesis.

Agradezco también a mis amigos y compañeros de la UPC: Ulises Mena, Tulio de la Cruz, Jamina Trabanino, Selma Chan, Rodrigo Franklin, Ivan Berdugo, José Rodríguez y Oriol Caselles, por los momentos que hemos compartido y especialmente a Nieves Lantada por su amistad y por las horas de “trabajo” compartidas durante el doctorado. Asimismo quiero expresar mi gratitud a Jesús Álvarez por su amistad durante y después del doctorado y, además, por el tiempo dedicado en darme opiniones constructivas para este trabajo.

Ringrazio a tutte quelle persone dell'Università degli Studi di Genova che durante il mio soggiorno in Italia mi hanno fatto sentire a casa. Ringrazio sinceramente i professori, gli studenti e tutto il personale amministrativo del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica. Un ringraziamento speciale al Prof. Sergio Lagomarsino per il tempo che mi ha dedicato e per la consulenza fornita, oltre che per l'amicizia che mi ha dimostrato. A tutti i miei amici “lochi”, Andrea Balbi, Serena Cattari, Christian Corradi, Emanuela Curti, Sara Frumento, Alessandro Galasco, Sonia Parodi, Andrea Penna, Stefano Podestá, Sonia Resemini y Chiara Calderini, grazie di tutto. Infine ringrazio la famiglia da Genova che mi ha ospitato durante il mio soggiorno.

Vaya también mi agradecimiento a todo el personal (secretarias, secretarios e informáticos) del Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica (UPC), por su amable atención y disposición ante cualquier consulta y ayuda que he necesitado, y, a la biblioteca de la UPC por su infinita cortesía y ayuda.

Les agradezco también a todos aquellos amigos, que han estado esperándome y dándome todo su apoyo durante la finalización de la tesis, así como también a todos mis compañeros de trabajo, en especial a Lucia Borghi.

Por último, y de manera muy importante, doy mis más sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones por las ayudas económicas que me han

brindado durante mis estudios de doctorado en la Universidad Politécnic de Catalunya: En primer lugar, agradezco al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, por la beca FPI (Formación de Personal Investigador) que me permitió cursar completamente los estudios de doctorado. En segundo lugar, a la UPC por la ayuda económica que me dió en el primer año de doctorado para cursar las asignaturas del programa y por la ayuda especial de tres meses de financiación que me otorgó para acabar de redactar mi tesis doctoral. En tercer lugar, agradezco a *Marie Curie Fellowships Association* por la beca que me permitió completar mi estancia en la Universidad de Génova y en ROSE School. Así como también, agradezco a los profesores Gian M. Calvi, Rui Pinho, Sergio Lagomarsino y al Dr. Andrea Penna por darme la oportunidad de realizar ésta estancia.

De corazón, doy a todos mis más sinceros agradecimientos.

Este trabajo estuvo parcialmente financiado por los siguientes proyectos de investigación: Desarrollo y aplicación de procedimientos avanzados para la obtención de escenarios de riesgo sísmico: REN2001-2418-C04-01 RIES, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Riesgo sísmico: aspectos sismológicos y de ingeniería sísmica (RISIS): REN2000-1740-C05-001 RIES, CICyT de Ciencia y Tecnología. *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns (RISK-UE)*: EESD-ENV-99-2 (JO 1999/C330/10), Comisión Europea.

Resumen

El análisis de la respuesta sísmica de una estructura ha adquirido una especial importancia tanto para el diseño sísmico de edificios como para la predicción del daño causado por los terremotos. En este trabajo se presenta un estudio completo sobre la evaluación del riesgo sísmico de dos tipologías representativas de la mayoría de los edificios residenciales de la ciudad de Barcelona, España. Se trata de edificios de hormigón armado con forjados reticulares y de edificios de obra de fábrica de ladrillo. El objetivo principal de esta investigación es estudiar una metodología sistemática para la evaluación del riesgo sísmico, por medio de curvas de fragilidad, en edificios situados en zonas urbanas con un nivel de amenaza sísmico moderado.

Después de revisar los aspectos conceptuales involucrados en la evaluación del riesgo sísmico, la acción sísmica y de describir el estado del conocimiento, se detalla la metodología adoptada para efectuar el análisis de la capacidad, fragilidad y daño esperado en edificios. La evaluación de la capacidad requiere el modelado de los edificios y el análisis estático no lineal. La fragilidad o vulnerabilidad se cuantifica a partir del espectro de capacidad, mediante un procedimiento simplificado. Las matrices de probabilidad de daño para un escenario sísmico requieren el conocimiento de la respuesta máxima estructural, la cual se obtiene mediante el método del espectro de capacidad.

La metodología se ha aplicado a 3 modelos de edificios de hormigón armado representativos de los edificios bajos, de altura mediana y altos de la ciudad, lo que ha permitido el desarrollo de escenarios de riesgo sísmico para dos

terremotos, cuya ocurrencia en Barcelona es razonablemente posible. Estos escenarios sísmicos tienen en cuenta la zonificación sísmica de la ciudad.

El método se ha aplicado también a caracterizar el comportamiento sísmico esperado de edificios de obra de fábrica de ladrillo, modelando 3 edificios típicos del distrito de l'Eixample. Dos de ellos tienen una configuración en planta diferente, uno más regular que el otro. El tercero es representativo de los edificios esquina, típicos de las manzanas de la ciudad. Se confirma el mejor comportamiento sísmico de los edificios regulares y el peor comportamiento de los edificios esquina. Se ha analizado un conjunto de edificios agregados, correspondientes a una hilera típica de las manzanas del distrito. Se concluye que el comportamiento sísmico del agregado no mejora, sino que hereda la vulnerabilidad de los edificios que lo componen.

Se realiza un análisis de sensibilidad para los umbrales de los estados de daño leve y severo, observando que pequeñas variaciones en estos umbrales pueden inducir variaciones significativas en el daño esperado. En consecuencia, se presenta una propuesta de los umbrales de los estados de daño considerando la degradación de rigidez, para el umbral del estado de daño leve y el endurecimiento para el umbral del estado de daño severo.

Para validar los resultados obtenidos por medio de la metodología aquí utilizada, se llevó a cabo una serie de análisis dinámicos no lineales a dos edificios de hormigón armado. Los resultados globales obtenidos son compatibles con los de la metodología. En general, los resultados obtenidos indican un nivel de confianza.

Finalmente, se recopilan las conclusiones derivadas de la presente investigación y se ofrecen recomendaciones para futuros trabajos.

Abstract

The analysis of the structural seismic response has gained a special importance both for the seismic design of buildings as for predicting the damage caused by earthquakes. In this thesis a complete study about the seismic risk assessment of the two main structural typologies of residential buildings of Barcelona, Spain, is presented. These correspond to reinforced concrete buildings with waffle slabs and unreinforced masonry buildings. The main goal of this research is to apply a systematic methodology for the seismic risk assessment, by means of fragility curves, in buildings located in urban zones with moderate seismic hazard.

After revising the conceptual aspects involved in the seismic risk assessment and describing the current state of the art, the adopted methodology to evaluate the structural capacity, fragility and expected damage analyses is described. To assess the capacity a structural modelling of the buildings and a non-linear static analysis is required. The fragility or vulnerability is evaluated through the capacity spectrum, by means of a simplified procedure. The damage probability matrixes for a given seismic scenario require knowledge of the maximum structural response, which is obtained by using the capacity spectrum method.

The methodology has been applied to three reinforced concrete models representative of low, mid and high rise buildings of the city; this has allowed developing seismic risk scenarios for two earthquakes, which occurrence in Barcelona is reasonably possible. These scenarios take into account

the Barcelona seismic zoning.

The method has been also applied to characterize the expected seismic behaviour of masonry buildings, modelling three typical buildings of the Eixample District. Two of them present different plane configuration, one more regular than the other. The third is representative of corner buildings, typical of the city's blocks. The better behaviour of the regular buildings compared to corner buildings is confirmed. An aggregate set of buildings, corresponding to a typical line of the district's blocks has been studied. It has been observed that the aggregate behaviour does not improve; instead it inherits the vulnerability of the constituting buildings.

A sensitivity analysis of the slight and extensive threshold damage states is carried out; it is observed that little variations in these thresholds significantly influence the expected damage. Consequently, new thresholds for these damage states are proposed based on certain structural characteristics obtained from the non-linear static analysis. The proposed slight damage threshold takes into account the elastic stiffness degradation, while hardening is considered for the extensive damage state.

To validate the results obtained with of the employed methodology, a series of non-linear dynamic analysis were carried out in two reinforced concrete buildings. The global results were compatible with the ones of the methodology. In general, the results show a good confidence level.

Finally, the conclusions drawn the current thesis are summarized and some recommendations for future works are given.

Abstract (Italiano)

L'analisi della risposta sismica strutturale ha guadagnato una speciale importanza sia per il disegno sismico delle costruzioni che per la prevenzione dei danni causati dai terremoti. In questa tesi si presenta uno studio completo sulla valutazione del rischio sismico nelle due principali tipologie strutturali utilizzati negli edifici residenziali di Barcellona, Spagna. Avevo costruzioni di cemento armato e muratura. L'obiettivo principale di questa ricerca è applicare una metodologia sistematica per la valutazione di rischio sismico, tramite delle curve di fragilità, in costruzioni situate nelle zone urbane con il rischio sismico moderato.

Dopo una revisione degli aspetti concettuali involucrati nella valutazione del rischio sismico, della azione sismica e la descrizione dello stato dell'arte, si descrive la metodologia adottata per valutare l'analisi di capacità, fragilità e di danno previsto negli edifici. Per valutare la capacità e richiesta una modellazione strutturale delle costruzioni e un'analisi statica non lineare. La fragilità o vulnerabilità è valutata con lo spettro di capacità, per mezzo di una procedura semplificata. Le matrici di probabilità di danno per uno stesso scenario sismico richiedono la conoscenza della risposta strutturale massima, che è ottenuta usando il metodo di spettro di capacità.

La metodologia è stata applicata a tre modelli di edifici in cemento armato che sono stati permessi di suddivisi in tre categorie in base all'altezza: alti, medi e bassi, ciò ha sviluppato scenari di rischio sismico per due terremoti, caso ragionevolmente possibile a Barcellona. Questi scenari di rischio sismico

considerando le zonizzazione sismica della città.

Il metodo inoltre è stato applicato per caratterizzare il comportamento sismico previsto nelle costruzioni in muratura, modellando tre costruzioni tipiche del quartiere dell'Eixample. Due hanno una pianta differente, una più regolare dell'altra. Il terzo edifici è rappresentativo delle costruzioni d'angolo, tipiche degli isolati dell'Eixample. Si conferma che le costruzioni regolari hanno un comportamento sismico buono mentre quella d'angolo si comportano peggio. È stato studiato un insieme aggregato de costruzioni, corrispondente ad una linea tipica degli i solati dell'Example. È stato osservato che il comportamento dell insieme non migliora; ma eredita la vulnerabilità delle singole costruzioni.

È stata effettuata un'analisi sperimentale di sensibilità delle soglie degli stati di danno lieve e rilevante, si è osservato che piccole variazioni influenzano significativamente il livello dei danni previsti. Di conseguenza, le nuove soglie per che questi danni dichiarano sono proposte hanno basato su determinate caratteristiche strutturali ottenute dall'analisi statica non lineare.

Per convalidare i risultati ottenuti è stata realizzata, una serie di analisi dinamiche non lineari in due edifici di cemento armato. I risultati globali erano compatibili con quei della metodologia. In generale, i risultati mostrano un buon livello di riservatezza.

Per concludere, le conclusioni disegnate la tesi corrente sono ricapitolate ed alcune raccomandazioni per i lavori futuri sono date.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| Resumen | XI |
| Abstract | xv |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Objetivos | 6 |
| 1.3. Metodología | 7 |
| 1.4. Contenido de la memoria | 8 |
| 1.5. Aportaciones | 10 |
| 2. Estado del arte y aspectos conceptuales | 13 |
| 2.1. Introducción | 13 |
| 2.2. Conceptos básicos | 14 |
| 2.3. Métodos de análisis sísmicos | 20 |
| 2.3.1. Análisis estático lineal | 21 |
| 2.3.2. Análisis dinámico lineal | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.3.3. Análisis estático no lineal | 22 |
| 2.3.4. Análisis dinámico no lineal | 22 |
| 2.3.5. Curvas y espectros de capacidad | 23 |
| 2.4. Respuesta dinámica de estructuras | 25 |
| 2.4.1. Sistema de un grado de libertad | 25 |
| 2.4.2. Sistema de varios grados de libertad | 26 |
| 2.4.3. Espectros de respuesta | 27 |
| 2.5. Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo sísmico | 28 |
| 2.5.1. La peligrosidad sísmica | 28 |
| 2.5.2. La vulnerabilidad sísmica | 29 |
| 2.5.3. El riesgo sísmico | 32 |
| 2.6. Daño sísmico e índices de daño | 35 |
| 2.6.1. El daño sísmico | 35 |
| 2.6.2. Índice de Park y Ang | 37 |
| 2.6.3. Índice de Roufaiel y Meyer | 38 |
| 2.6.4. Índice de Bracci | 39 |
| 2.6.5. Índice de Calvi | 39 |
| 2.7. Ingeniería sísmica basada en desempeño | 40 |
| 2.8. Evaluación del desempeño sísmico | 45 |
| 2.8.1. Método del espectro de capacidad | 47 |
| 2.8.2. Método N2 | 48 |
| 2.8.3. Método basado en el desplazamiento | 51 |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| 2.9. Curvas de fragilidad | 54 |
| 2.10. Matrices de probabilidad de daño | 55 |
| 2.11. Resumen | 56 |
| 3. La acción sísmica | 59 |
| 3.1. Introducción | 59 |
| 3.2. La acción sísmica en el diseño estructural | 61 |
| 3.3. Técnicas de obtención de acelerogramas artificiales | 62 |
| 3.3.1. Métodos sismológicos | 63 |
| 3.3.2. Métodos estocásticos | 64 |
| 3.3.3. Acelerogramas artificiales compatibles con espectros de respuesta | 67 |
| 3.4. Espectros de respuesta para Barcelona | 70 |
| 3.4.1. Espectros norma sísmica española | 70 |
| 3.4.2. Espectros código sísmico europeo | 72 |
| 3.4.3. Espectros ICC para Barcelona | 76 |
| 3.5. La envolvente trapezoidal | 79 |
| 3.5.1. La duración (DUR) | 79 |
| 3.5.2. El tiempo de elevación (<i>TRISE</i>) | 82 |
| 3.5.3. La fase fuerte (<i>TLVL</i>) | 83 |
| 3.5.4. El tiempo de caída (<i>TFALL</i>) | 84 |
| 3.6. Acelerogramas artificiales | 85 |
| 3.6.1. El programa SIMQKE | 85 |

| | |
|---|------------|
| 3.6.2. Acelerogramas generados | 87 |
| 3.7. Resumen | 90 |
| 4. Metodología para la evaluación del riesgo sísmico | 91 |
| 4.1. Introducción | 91 |
| 4.2. Curva de capacidad | 92 |
| 4.3. Espectro de capacidad | 94 |
| 4.3.1. Espectro de capacidad bilineal | 95 |
| 4.4. Espectro de demanda | 97 |
| 4.4.1. Punto de desempeño | 101 |
| 4.5. Curvas de fragilidad | 103 |
| 4.5.1. Umbrales de los estados de daño | 105 |
| 4.5.2. Desviación estándar | 107 |
| 4.6. Matrices de probabilidad de daño | 110 |
| 4.7. Parámetro de daño medio | 112 |
| 4.8. Resumen | 114 |
| 5. Umbrales de los estados de daño | 117 |
| 5.1. Introducción | 117 |
| 5.2. Análisis de sensibilidad | 118 |
| 5.3. Propuesta de umbrales de daño | 123 |
| 5.3.1. Umbral del estado de daño leve | 124 |
| 5.3.2. Umbral del estado de daño severo | 126 |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------------|
| 5.4. Comparación y aplicación de los estados de daño | 133 |
| 5.5. Resumen | 136 |
| 6. Aplicación a Barcelona en edificios de hormigón armado | 139 |
| 6.1. Introducción | 139 |
| 6.2. Comportamiento estructural del hormigón | 141 |
| 6.3. Edificios de hormigón armado con forjados reticulares | 145 |
| 6.4. Capacidad | 146 |
| 6.4.1. Características de los edificios | 147 |
| 6.4.2. Espectros de capacidad | 151 |
| 6.5. Fragilidad | 155 |
| 6.6. Escenarios sísmicos | 158 |
| 6.6.1. Puntos de desempeño | 159 |
| 6.6.2. Matrices de probabilidad de daño | 161 |
| 6.6.3. Discusión | 165 |
| 6.7. Escenarios de daño sísmico | 167 |
| 6.8. Resumen | 171 |
| 7. Evaluación del comportamiento sísmico de edificios de obra de fábrica | 173 |
| 7.1. Introducción | 173 |
| 7.2. Los edificios de Barcelona | 176 |
| 7.3. Comportamiento estructural y propiedades de las fábricas . . . | 178 |

| | |
|---|-----|
| 7.3.1. Resistencia a compresión | 180 |
| 7.3.2. Resistencia a esfuerzo cortante | 181 |
| 7.3.3. Resistencia a flexión | 182 |
| 7.3.4. La relación tensión-deformación | 182 |
| 7.4. Comportamiento sísmico de la obra de fábrica | 182 |
| 7.4.1. Resistencia y fallo en el plano | 183 |
| 7.4.2. Resistencia y fallo fuera del plano | 184 |
| 7.5. Modelos numéricos de los elementos estructurales | 185 |
| 7.5.1. Micromodelos | 185 |
| 7.5.2. Macromodelos | 187 |
| 7.6. Capacidad | 188 |
| 7.6.1. Geometría y modelización de los edificios | 188 |
| 7.6.2. Características mecánicas | 194 |
| 7.6.3. Propiedades modales | 197 |
| 7.6.4. Espectros de capacidad | 199 |
| 7.7. Fragilidad | 203 |
| 7.8. Matrices de probabilidad de daño | 208 |
| 7.8.1. Escenario sísmico | 208 |
| 7.8.2. Puntos de desempeño | 210 |
| 7.8.3. Matrices de probabilidad de daño | 211 |
| 7.9. Discusión | 213 |
| 7.10. Resumen | 217 |

| | |
|---|------------|
| 8. Otras consideraciones sobre el comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado | 221 |
| 8.1. Introducción | 221 |
| 8.2. Caso de estudio 1: El diseño sísmico | 223 |
| 8.2.1. Introducción | 223 |
| 8.2.2. El edificio | 223 |
| 8.2.3. Normativa y bases del proyecto | 224 |
| 8.2.4. Análisis estructural | 225 |
| 8.2.5. Capacidad | 228 |
| 8.2.6. Demanda y desempeño sísmico | 229 |
| 8.2.7. Fragilidad | 231 |
| 8.2.8. Discusión | 232 |
| 8.3. Caso de estudio 2: Los muros de relleno | 233 |
| 8.3.1. Introducción | 233 |
| 8.3.2. Las paredes de relleno | 234 |
| 8.3.3. Influencia de las paredes de relleno | 235 |
| 8.3.4. Edificio de 8 plantas en zona II | 244 |
| 8.3.5. Discusión | 247 |
| 8.4. Caso de estudio 3: Análisis dinámico no lineal | 248 |
| 8.4.1. Introducción | 248 |
| 8.4.2. Edificio con diseño sísmico | 249 |
| 8.4.3. Edificio de hormigón armado con forjado reticular . . . | 252 |

| | |
|---|------------|
| 8.4.4. Discusión | 257 |
| 8.5. Resumen | 258 |
| 9. Conclusioni | 261 |
| 9.1. Analisi finale | 261 |
| 9.2. Riepilogo | 262 |
| 9.3. Conclusioni | 265 |
| 9.4. Nuovi orizzonti di ricerca | 271 |
| Referencias bibliográficas | 275 |
| A. Conclusiones en Español | 297 |
| A.1. Comentarios finales | 297 |
| A.2. Recapitulación | 299 |
| A.3. Conclusiones | 301 |
| A.4. Futuras líneas de investigación | 307 |
| B. Descripción de la ciudad de Barcelona | 311 |
| B.1. El sistema constructivo | 316 |
| B.2. La amenaza sísmica en Barcelona | 319 |
| B.3. Información utilizada | 321 |
| C. Descripción de los programas utilizados | 323 |
| C.1. Programa BCSEC | 323 |
| C.2. Programa RUAUMOKO | 326 |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---------------------------------|-----|
| C.3. Programa SAP2000 | 327 |
| C.4. Programa SIMQKE | 327 |
| C.5. Programa STAC | 328 |
| C.6. Programa TreMuri | 329 |

