

LAS INVESTIGACIONES DE LA RED MUSEAL PANGAEA

DESDE EL DESCUBRIMIENTO DEL “VALLE DE LOS TITANOS” HASTA EL CONTROL Y VALORIZACIÓN DEL TERRITORIO (EL CUY, RIO NEGRO)

Landini Walter¹ & Finotti Franco²

RESUMEN

La Red de los Museos naturalísticos italianos Pangea, junto con el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca, trabaja desde el año 2005 en Argentina en el campo de la investigación paleontológica, geofísica y en el control ambiental. En 2005 en el valle de El Cuy (Rio Negro) fue hallado un sitio caracterizado por una fuerte concentración de esqueletos de titanosaurios en los sedimentos de la Formación Anacleto (Santoniano-Campaniano). La abundancia, el estado de conservación y las condiciones de preservación de los hallazgos permiten pensar que se recuperarán esqueletos casi completos. De momento se atribuyen al género *Laplatasaurus*, un titanosaurio, mientras el antiguo ambiente de vida se refiere a un área lacustre de pantano. La fuerte concentración de esqueletos en el nivel fosilífero se puede atribuir a un evento catastrófico, debido probablemente a una inesperada inundación de la cuenca hídrica. Además del valor científico de este descubrimiento, se añade un gran interés naturalístico del área, que permite emprender una política de desarrollo y gestión también turística del territorio, con ventajas a nivel económico. De hecho se han experimentado métodos geofísicos para la investigación de yacimientos paleontológicos y para la caracterización del subsuelo, buscando técnicas de visualización de anomalías encontradas y de su posición geográfica a través de los más modernos sistemas GIS. La tutela del patrimonio natural y su correcta fruición se presentan de esta manera como un sistema integrado entre la gestión geográfica y del territorio y los modelos 3D. Los modelos tridimensionales, además de representar la documentación más completa de un objeto de valor, son muy útiles en el caso de daños o pérdida para su estudio, la duplicación y el turismo virtual. Junto con la actividad de excavación, se prevé la escansión en el mismo lugar y la creación de modelos tridimensionales de los fósiles y su valorización con una base de datos GIS a través de internet (sistema Google Earth).

INTRODUCCION

La Red Museal PANGAEA se califica como red institucional gracias a una cooperación de “sistema” que comparte los diferentes recursos humanos, técnicos, financieros y el patrimonio de ciencias y experiencias de cada museo afiliado para construir relaciones estables y coordinadas. Ha sido creada en el año 2004 por los cuatro museos, precisamente por el Museo de Historia Natural y del Territorio de la Universidad de Pisa, el Museo Geopaleontológico del Castello di Lerici (SP), el Museo Civico de Rovereto (TN) y el Museo de los Fósiles y de los Ámbares de S. Valentino in Abruzzo Citeriore (PE). Desde noviembre del 2007 se ha adjunto a la actividad de la Red PANGAEA el Museo Regional de Historia Natural de Turín.

¹ Museo de Historia Natural y del Territorio, Universidad de Pisa

² Museo Cívico de Rovereto (TN)



Fig.1 - Los Museos de la Red Pangea

El *corpus* de las iniciativas y de los proyectos realizados o para realizar de la Red Pangea se puede sintetizar así: expediciones paleontológicas, formación de técnicos, difusión de la cultura científica, experimentación y aplicación de tecnologías innovativas en la investigación y organización de muestras y eventos culturales. La actividad de investigación hasta ahora desarrollada en Argentina ha tenido un sello oficial con los acuerdos firmados con la Provincia de Río Negro, que concuerdan en la colaboración del montaje del Museo Patagónico de Historia Natural de General Roca, colaboración que ha llevado a la inauguración del Museo hace un año, en la organización de campañas de excavación en el sitio de El Cuy e en la actividad de censo, salvaguarda y valorización del patrimonio histórico-naturalístico en el territorio rionegrino. El acuerdo ratifica además el nacimiento de una Estación Científica de Ciencias Naturales, con particular atención a la paleontología, donde será posible desarrollar y experimentar también nuevas tecnologías informáticas y robóticas aplicadas no solo a las ciencias paleontológicas sino también a las ciencias naturales, agrarias y a la astronomía, desarrollando propuestas de turismo cultural, dirigidas al ámbito académico y al público, e intercambios internacionales entre Italia y Argentina. En el septiembre 2008 se ha formado un convenio marco con la Universidad Nacional de Río Negro. PANGEA, en colaboración con las autoridades provinciales, con la nueva Universidad estatal, con el Museo de Ciencias Naturales de Roca y con expertos locales se ocupará de elaborar proyectos de desarrollo y valorización del patrimonio naturalístico en general y del patrimonio paleontológico en particular. En la Estación Científica se podrán realizar actividades internacionales con las escuelas en sitios de particular valor paleontológico, además de la activación de rutas turísticas con campos-escuela residenciales.

Es posible efectuar cursos de formación para investigadores y profesores italianos y argentinos sobre el uso de la geofísica y de otros medios informáticos y robóticos directamente *in situ*. Se podrán también poner al día las bases de datos disponibles en el web desde lejos.

INVESTIGACIÓN PALEONTOLÓGICA Y GEOFÍSICAS APLICADAS A LA PALEONTOLOGÍA

Hasta ahora las actividades que Pangea ha emprendido han sido principalmente investigaciones paleontológicas y geofísicas aplicadas a la paleontología.

Además todos los datos recogidos durante las investigaciones de Pangea han sido georeferenciados y gestionados por el programa Geocollector, que funciona con Google Earth. Se trata de un sistema Web Gis versátil que puede gestionar y representar al mismo tiempo muchas bases de datos geográficas. De esta manera los sitios estudiados en Argentina se pueden localizar geográficamente en poco tiempo, las bases de datos pueden ser actualizadas por los investigadores aunque se encuentren en diferentes partes del mundo, y la información científica integrada puede ser utilizada al mismo tiempo por diferentes sujetos cuya tarea es la de tutelar y gestionar el territorio. Además el hecho de tener pares de ortofoto con diferente escala y banda de frecuencia permite efectuar un estudio detallado del ambiente con los datos de fotointerpretación y con la realización de mapas temáticos y modelos 3D del territorio. Junto a la actividad de excavación, limpieza y restauración de los hallazgos paleontológicos encontrados en el sitio de El Cuy – General Roca, la Red Pangea ha previsto la escansión y la modelación tridimensional de los hallazgos, su valorización en Internet (Web Gis) y la posibilidad de efectuar estudios desde lejos. De hecho los modelos tridimensionales representan hoy en día la documentación más completa de un objeto de valor, en el caso de daño o pérdida, para poder realizar su visualización desde diferentes puntos de vista, para estudiar el hallazgo sin dañarlo, para valorizarlo como objeto de turismo virtual y para hacer copias - también para uso comercial - sin manejar el original. Por eso es necesario crear modelos virtuales muy detallados, que sean foto-realísticos y que tengan una perfección geométrica.

El uso de la tecnología 3D Laser scanner para el proyecto en Argentina tiene una gran importancia para la realización del relieve detallado de las áreas de estudio y también para la escansión de precisión de los hallazgos más significativos encontrados durante las excavaciones.

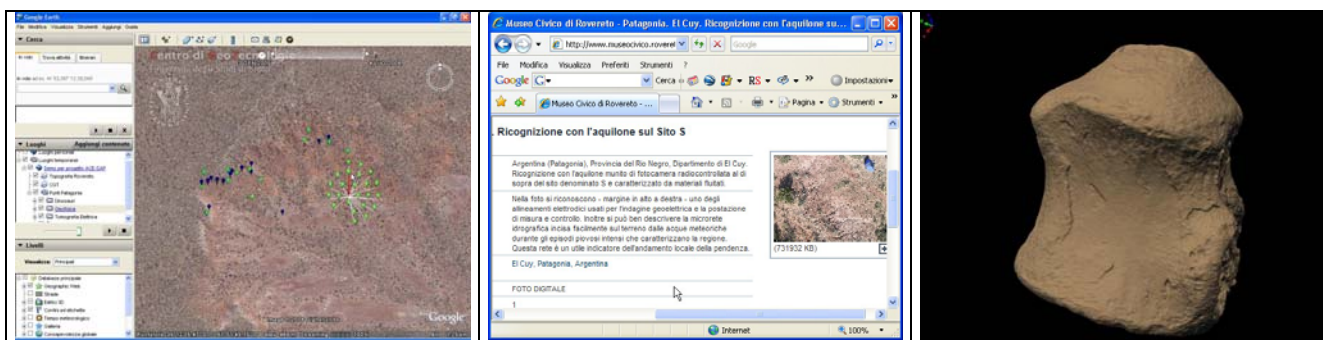


Fig.2 – a) Georeferenziación de los sitios paleontológicos estudiados; b) Conexión con las bases de datos relacionadas con las diferentes informaciones gestionadas por el Web-Gis; c) Reconstrucción 3D, hecha con Laser scanner, de una vértebra caudal de Titanosaurio.

Investigación paleontológica

Después del descubrimiento de hallazgos superficiales de fragmentos de huesos de dinosaurios en el área de Passo Córdoba - El Cuy (General Roca) la Red Pangea, a partir del año 2005, ha realizado algunas inspecciones para verificar las potencialidades paleontológicas del área, en colaboración con la Provincia de Río Negro, con algunos paleontólogos relacionados con el MACN y con expertos locales.

El sitio que tiene mayor interés entre los estudiados ha sido el “Campo Verdecchia”, en el sector norteño del valle de El Cuy. En este área se encontraron, en sedimentos del Santoniano superior/Campanaiano inferior (Formación Anacleto), algunos pequeños fragmentos que se supone pertenezcan a un cachorro de Titanosaurio (fig. 3), además de una fuerte concentración de huesos manejados y en pésimo estado de conservación por la larga exposición a la atmósfera.



Fig.3 – A la izquierda, parte proximal del fémur de un cachorro de Titanosaurio comparado con el hallazgo de un ejemplar adulto. Al centro, hueso de Titanosaurio en el estrato primario del nivel fosilífero. A la derecha, mapa geológico con escala 1:250.000 Hoja 3969 IV (General Roca), con el área de los hallazgos en rojo.

La Formación Anacleto está constituida esencialmente por sedimentos que se distinguen por una intensa tonalidad morado - rojiza.

Se alternan a estas fangolitas algunos niveles de cálcicos concrecionales de coloración rosada o gris, que confieren al conjunto un aspecto típico bandeado (ver notas geológicas).

En la sucesión estratigráfica, parcialmente expuesta a los lados de la meseta (ver fig.), se ha podido reconocer un nivel gris/verde con espesor de 1,5-2m, con una fuerte concentración de huesos de Titanosaurio en yacimiento primario (ver fig. 4), cuya extensión lineal en el cuerpo sedimentario se ha medido alrededor de los 100 metros.



Fig.4 - Panorámica del nivel fosilífero. Los números indican los puntos de excavación.

Se han hecho algunas pruebas de excavación a lo largo del frente fosilífero para establecer la naturaleza, la consistencia del depósito fosilífero, las modalidades de yacimiento y el estado de

conservación de los hallazgos. Todas las pruebas han proporcionado hallazgos de Titanosaurios en buen estado de conservación con huesos con una conexión anatómica buena y concentrados cerca de la base del nivel. Cerca de estos huesos se hallaron también escasos restos de un terópode.



Fig.5 - A la izquierda, excavaciones en el punto 1. Se puede observar la gran parte del esqueleto de un Titanosaurio a la base del nivel fosilífero. A la derecha, en el punto 3 de la excavación, se ven hallazgos óseos en posición anatómica de un Titanosaurio.

Los hallazgos, solo parcialmente recuperados, están depositados en el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca en espera de restauración. Preliminarmente se pueden atribuir los huesos al género Laplatasaurus, un titanosaurio del Campaniano de la Patagonia, que llegaba a los 20 metros y pesaba 25 toneladas. Como se ha subrayado anteriormente, gracias a las potencialidades del nivel fosilífero, sería posible recuperar esqueletos más o menos completos y pertenecientes a diferentes edades, que permitirían formular hipótesis sobre el desarrollo ontogenético, las relaciones intraespecíficas, el comportamiento social etc...

Evidencias de sedimentos, tafonómicas y paleontológicas concuerdan en el hecho de que el depósito se ha creado por una acción de entierro, aunque siguen todavía las indagaciones para una interpretación más precisa. Las sedimentitas de la Formación Anacleto denotan haber sido depositadas en ambiente fluvial de bajo gradiente, así como la presencia de ostracodos y cariofita revela la existencia de cuerpos lacustres en tramos. El hallazgo de algunas placas de tortuga acuática y de dientes de pez de agua dulce en las primeras inspecciones confirma esta hipótesis. Por último, la fuerte concentración de restos de esqueletos en el depósito fosilífero se puede interpretar como el resultado de una calamidad debida a una inesperada inundación de la cuenca.

Las actividades de inspección y de excavación han sido llevadas por expertos asociados a diferentes instituciones italianas y argentinas. En particular: G. Bianucci, W. Landini, C. Sorbini, B. Sorce, M. Tongiorgi y A. Varola del Museo de Historia Natural y del Territorio de la Universidad de Pisa; D. Ormezzano, G. Pavia, A. De Faveri y M. Zunino del Museo Regional de Ciencias Naturales de Torino; F. Finotti, A. Cardani, F. Zandonai, C. Caliarì, L. Girardi y N. Angeli del Museo Cívico de Rovereto (TN); S. Apisteguja, Pablo Chiarelli, P. Gallina de la Cooperativa Buitrera, asociada al MACN (Buenos Aires); R. Barbieri, P. Chafraat y M. Sánchez del Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca.

Investigación geofísica

En el proyecto de investigación de Pangea en Argentina las indagaciones geofísicas y el uso de nuevas tecnologías al servicio de la paleontología tienen un papel importante para la valorización y la fruición completa del territorio y de los bienes culturales estudiados.

El objetivo principal – relativamente a la investigación geofísica – era lo de experimentar nuevos métodos económicos, simples y de amplio valor informativo. Por tanto la primera acción de Pangea ha sido la de utilizar, junto a los métodos geofísicos ya ampliamente testados en la investigación paleontológica, otros métodos nuevos y de controlar su compatibilidad e integración.

Los conocimientos geológicos y geomorfológicos preliminares de la zona semidesértica estudiada han reducido la disponibilidad de métodos geofísicos utilizables y han orientado la elección hacia los métodos eléctricos (tomografía eléctrica), que garantizan medidas significativas con valores de resistividad tanto altos como bajos. En esta primera fase de investigaciones se han evitado métodos como el georadar porque su capacidad de penetración es condicionada por el valor de conductibilidad de los sedimentos.

La hipótesis de trabajo relativamente a los métodos geofísicos ha sido confirmada por la realidad de la campaña de El Cuy, en la que se han medido valores medios de resistividad inferiores a 100 Ohm m para los materiales disueltos y para los arenosos.

Se ha utilizado la geoelectrica, cuya eficacia era evidente, y también otro método nuevo y no invasivo en la indagación del primer subsuelo, la sismica pasiva, utilizando un tromógrafo digital de nueva generación, portátil, de alta resolución (Tromino, Micromed).

El objetivo ha sido dúplice: distinguir la heterogeneidad sub-superficial a pequeña escala haciendo un mapa volumétrico de partes del territorio reducidas (10 x 10 m) para reconstruir el desarrollo de los niveles con diferentes consistencias; y recoger datos estratigráficos a gran profundidad utilizando simplemente la frecuencia de muestras y el tiempo de medida del ruido ambiental. De esta manera se logran dos importantes resultados: por un lado se orienta la excavación y por otro se recogen datos territoriales útiles para la planificación ambiental.

Se ha elegido por tanto, para trabajar en la campaña paleontológica en Argentina, utilizar solo dos métodos geofísicos que garantizan la posibilidad de tomar medidas significativas, dado el ambiente hostil en que se obra. Se ha tomado esta decisión para poder efectuar, con poco tiempo a disposición (dos semanas en el año 2006 y una semana en 2008), una caracterización a gran escala del sitio estudiado y para recoger datos detallados.

La primera elección ha sido el método geoelectrico, que representa el método más conocido y utilizado gracias a su fiabilidad y estabilidad. Permite obrar también en terrenos inaccesibles y con condiciones climáticas variadas. Además es un método modular y permite un buen equilibrio entre el volumen estudiado y el detalle alcanzado.

En cambio la segunda elección ha sido una técnica nueva, habitualmente utilizada en estos contextos para tener una respuesta sísmica del subsuelo. Se trata de la sismica pasiva, técnica no invasiva que permite tener informaciones a través de la adquisición del ruido sísmico natural sin alterar el subsuelo.

El método geoelectrico

La resistividad eléctrica es una propiedad intrínseca de cada material, que describe la facilidad con que se transmite la corriente eléctrica: valores altos de resistividad indican que el material opone una gran resistencia al flujo de corriente. La resistividad cambia en una amplia gradación de valores que van desde pocos Ohm/metro, en algunos tipos de materiales disueltos, hasta miles de Ohm/metro en los bloques rocosos.

El método geoelectrico se basa en la formación de campos eléctricos en el terreno, con corriente continua, producidos a través de aparatos electródicos geométricos. La unidad mínima de medida es el cuadripolo, que está formado por dos electrodos externos de energía y dos electrodos internos de

medida de la corriente. El cálculo de la resistividad del terreno es posible gracias a la aplicación de la Ley de Ohm.

En el caso del que tratamos se ha utilizado la instrumentación multieléctrodo E.R.S. (Electrical Resistivity System), realizada por el Museo Civico de Rovereto, que está formada por 4 módulos con 16 electrodos cada uno para un máximo de 64 electrodos de medida. Además se han recogido los datos utilizando el array Wenner sobre áreas de 48 electrodos con paso de 0.3 m.

Los datos recogidos, oportunamente invertidos, son estructurados en secciones de resistividad que representan la respuesta de la parte vertical del subsuelo que se refiere al área de medida. Recogiendo medidas de áreas cercanas y estudiándolas, se obtienen luego verdaderas tomografías eléctricas del subsuelo. Los detalles del análisis están relacionados con el paso electródico mientras la profundidad máxima de indagación está relacionada con la longitud del área.

La Sísmica pasiva

La Sísmica pasiva o MSM (Microtremor survey method) se utiliza desde hace decenios sobre todo en Japón. A partir de los años '50 del siglo XX se escribieron artículos sobre este tema (Kanai), pero ha sido Nakamura (2000), definiendo los microtemblores como “a tool for site effect estimation”, quien abrió camino a nuevas aplicaciones científicas.

El método utiliza el ruido natural, presente en cualquier momento y lugar de la superficie terrestre y caracterizado por amplitudes de velocidad muy pequeñas, bajo el umbral de la percepción humana. El ruido ambiental se convierte por tanto en un medio de indagación (pasiva) que permite no alterar con señales el subsuelo para estudiar la respuesta inducida (como en la geoeléctrica).

Este método se puede utilizar en estación individual y también “sumando” (a través de una inversión bidimensional) las medidas obtenidas en array, para individuar los contrastes de impedancia sísmica presentes en el subsuelo según la frecuencia de resonancia.

La función de referencia obtenida con la adquisición del ruido (a través de tres sensores ortogonales), que da el nombre también a la técnica de análisis (Técnica de proporción espectral) es el HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

La Sísmica pasiva - según las experiencias del equipo de investigación geofísica del Museo Civico de Rovereto (TN) – resultaba eficaz tanto en las prospecciones profundas (hasta 1km) como en las superficiales (en estudios de ingeniería y arqueología). Además, según una investigación preliminar hecha junto con el Departamento de Física – sector Geofísica de la Universidad de Bolonia, la Sísmica pasiva era capaz también de efectuar evaluaciones para distinguir la presencia de vertebrados fósiles en el sedimento arenoso arcilloso como el del yacimiento de El Cuy.

En Argentina Pangea ha utilizado por tanto el tromógrafo digital Tromino, compacto y ligero, formado por tres velocímetros ortogonales de alta sensibilidad. El campo de adquisición va desde 0.1 hasta 256 Hz, y se puede establecer la frecuencia de muestra más apropiada (128 Hz; 256 Hz; 512 Hz) según el tiempo necesario (normalmente veinte minutos para las medidas al aire libre, menos de diez minutos para las medidas en el interior de los edificios).

El Sitio paleontológico S

Los datos recogidos han demostrado que los métodos geofísicos utilizados son capaces de distinguir niveles con diferentes contrastes de competencia, como se ha podido verificar directamente en el sitio gracias a ensayos mecánicos, secciones estratigráficas bien expuestas y evidencias paleontológicas. En los siguientes párrafos se cita un ejemplo de los resultados logrados con el estudio del sitio paleontológico S.

El sitio, localizado a Sureste de la meseta y formado por materiales transportados por la corriente, ha sido estudiado según valores utilizados en la geoeléctrica y también en la sísmica pasiva (ver esquema abajo).

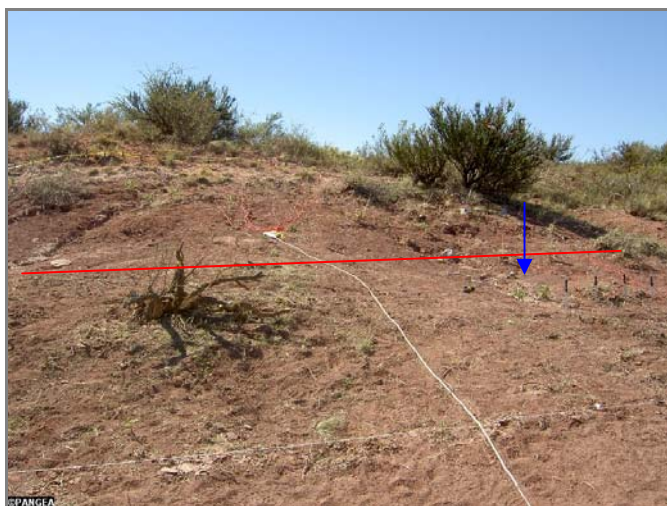
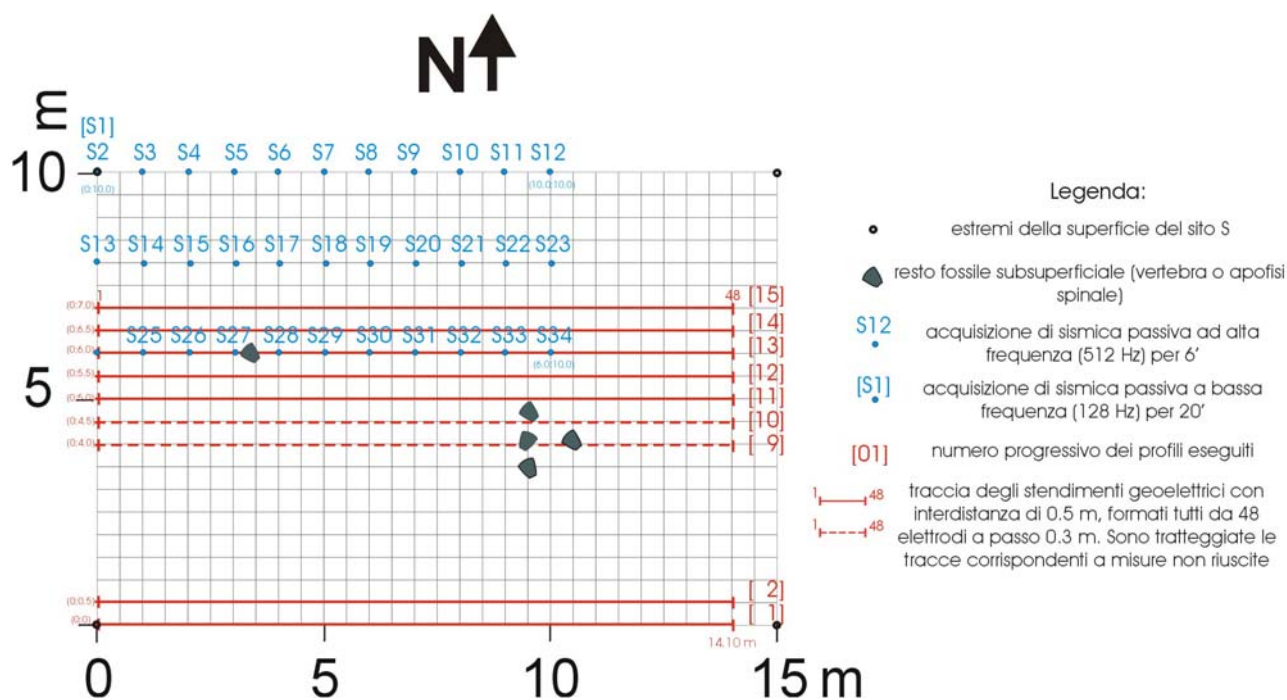


Fig.6 - Particular de la parte alta del rectángulo de medidas hallado en el sitio S, interesado por indagaciones geoelectricas (la línea roja corresponde a una de las medidas) y de sismica pasiva (la flecha azul indica el tromógrafo mientras toma las medidas).

La indagación geoelectrica se articula en una serie de medidas paralelas en dirección EW, con paso interelectrónico de 0.3 m (con 14.1 m de ancho) e interdistanza de 0.5 m. Las medidas de campaña han evidenciado valores de resistividad aparente muy bajos, relacionados con la textura fina del sedimento que resulta tener muchos sales minerales. La inversión de las secciones con resistividad aparente (fig.7) y su sucesivo tratamiento con un modelo pseudo 3D (fig.8) han permitido reconstruir el volumen cuantificado en 34 m³ (máxima profundidad de indagación: 1.2 m) y distinguir sectores con una mayor consistencia respecto a sectores constituidos completamente por material fino y disuelto. El control hecho con perforación mecánica ha confirmado la exactitud de los resultados, porque se han individuado terrenos con una mayor consistencia en correspondencia con los volúmenes de resistividad. El análisis paleontológico de superficie y el censo de los hallazgos ha evidenciado la presencia de hallazgos óseos (vértebras caudales y elementos espinales) en el sector occidental del sitio, caracterizado por valores de resistividad muy modestos. Pero los hallazgos tenían dimensiones muy inferiores respecto al paso electrónico impuesto (que era de todas

formas detallado si comparado con los utilizados en las normales aplicaciones de campaña; de hecho este paso había sido elegido anteriormente para relieves arqueológicos y edafológicos del primer metro) y por tanto no directamente resueltos con la tomografía eléctrica.

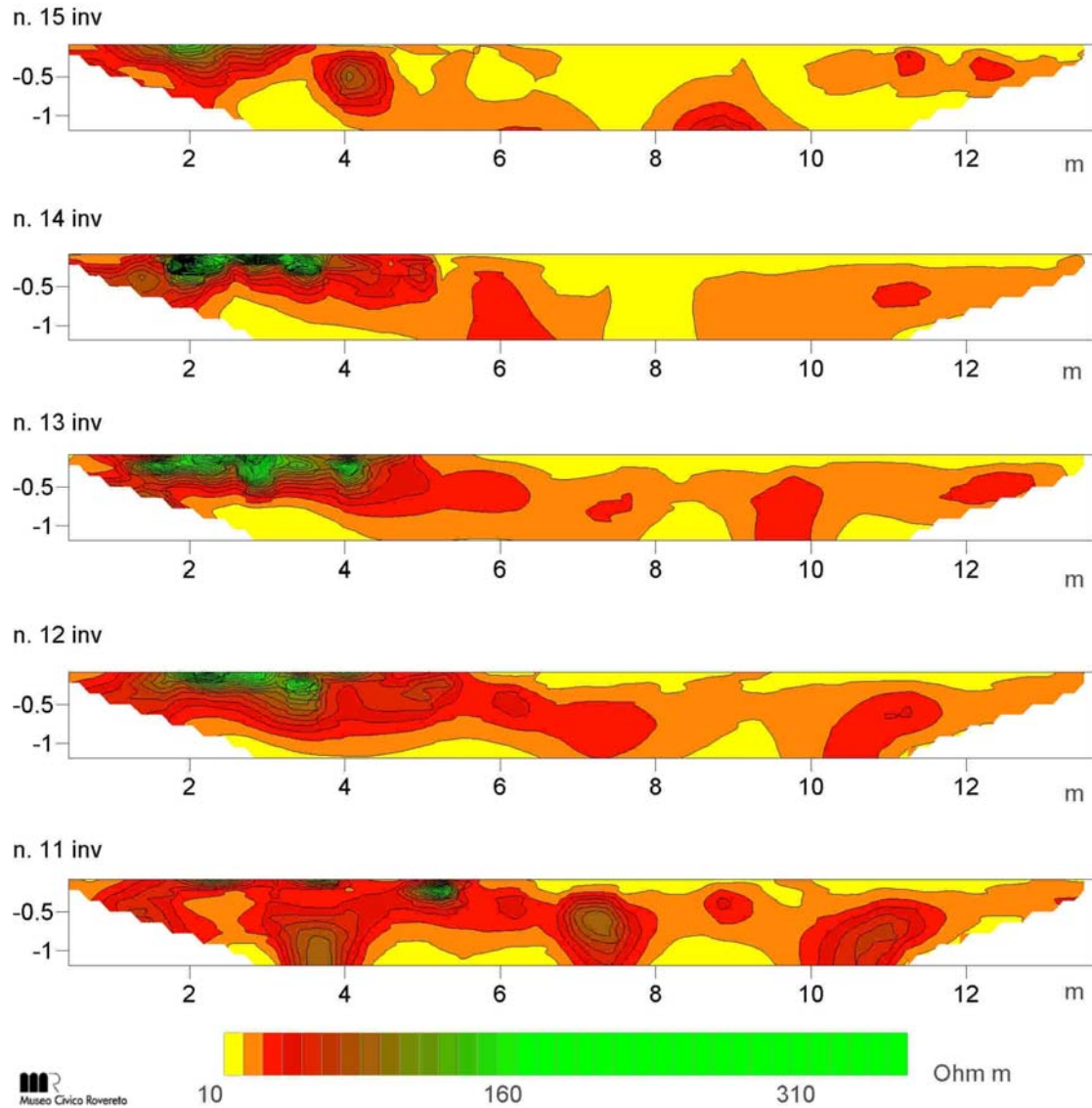
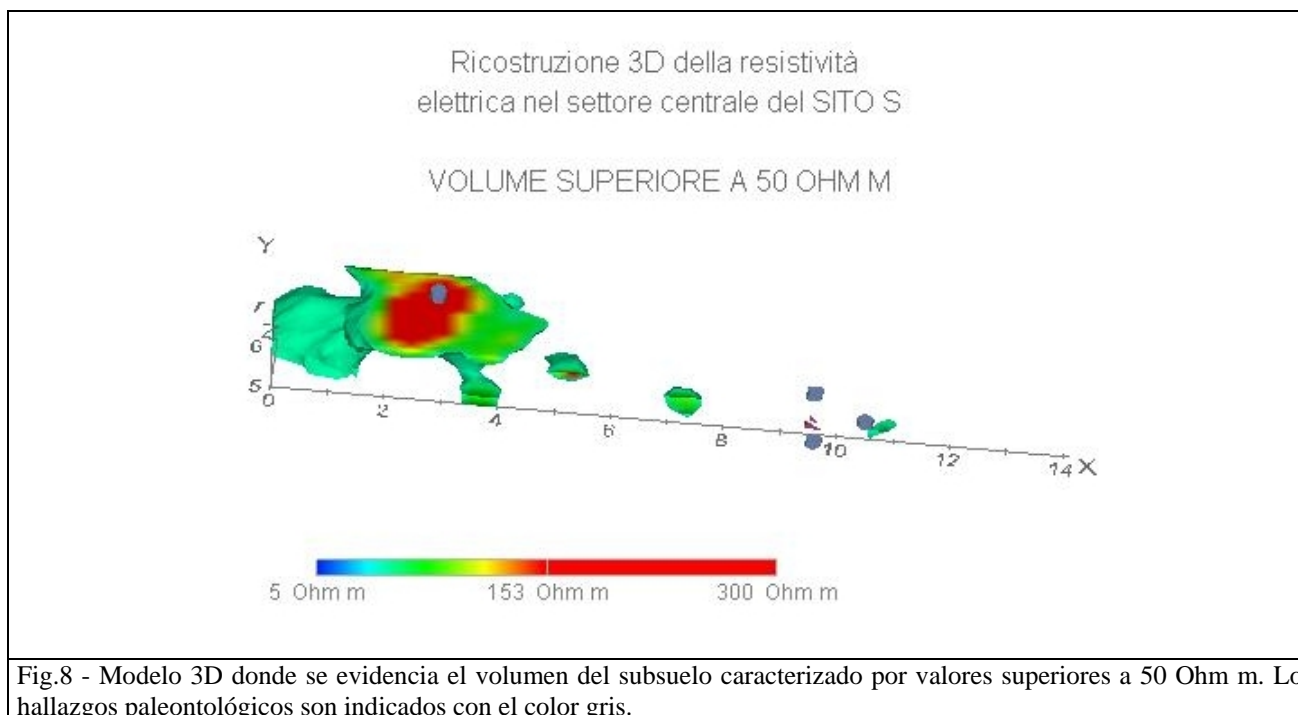


Fig.7 – Secciones con resistividad logradas - desplazándose desde el monte hacia el valle – en estratos electródicos paralelos dirigidos hacia EW dentro del rectángulo de medidas del Sitio S.



Se ha utilizado la indagación de sísmica pasiva paralelamente a la indagación geoelectrica, y las dos se sobreponen en algunos puntos (ver esquema fig. 6) para favorecer la comparación de los datos sísmicos y eléctricos. Se han recogido 34 medidas de sísmica pasiva a 512 Hz siguiendo los nudos de un panel compuesto por tres líneas (distanciadas de 2m) cada cual tiene 11 nudos (cada 1m). También en este caso, después de la medida n. 1 a 128 Hz (recogida al vértice de NW del cuadrado de medida), se ha realizado en el mismo punto la medida n. 2 pero con frecuencia de muestras de 512 Hz.

Se ha establecido una V_{so} media de 250 m/s (como logrado experimentalmente con análisis de laboratorio sobre muestras de arena de los sitios estudiados en 2005) que crece hacia abajo, para realizar la inversión bidimensional – hecha por la Dr. Silvia Castellaro – según modelos simplificados de inversión (cfr. Ibs Von-Seht, 1999). Se han estudiado por separado los resultados relativos a cada línea (3 grupos con 11 medidas para cada grupo) según su disposición lineal.

Lo que se obtiene es una sección integrada de H/V que muestra en la ordenada la profundidad, en la abscisa la posición progresiva a lo largo del estrato, mientras el parámetro H/V se expresa a través de una escala de colores logarítmica (desde - 0.4 hasta + 0.4) en la que el rojo indica el contraste de impedancia positivo y el azul [$\log(H/V) < 0$] indica la inversión de velocidad respecto al estrato superior. Abajo se puede observar la situación (figg. 9a, 10a y 11a) desde el plano campaña hasta la profundidad máxima alcanzada con las medidas utilizadas (alrededor de 100 m desde el p.c., si es correcta la opción de V_{so} de 250 m/s) y el zoom de los primeros 10 m (figg. 9b, 10b y 11b).

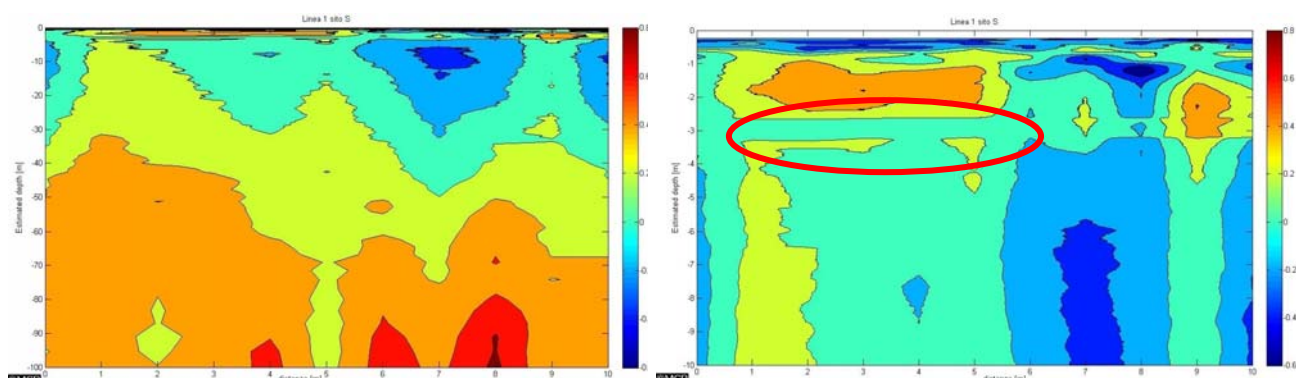


Fig. 9a - Inversión de la línea 1, sitio S, desde 0 hasta 100 m desde el p.c.

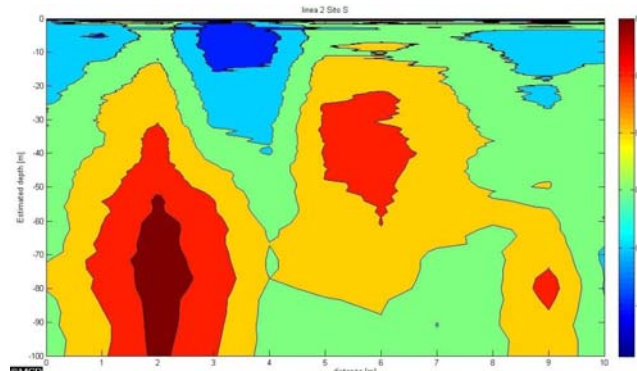


Fig. 10a - Inversión de la línea 2, sitio S, desde 0 hasta 100 m desde el p.c.

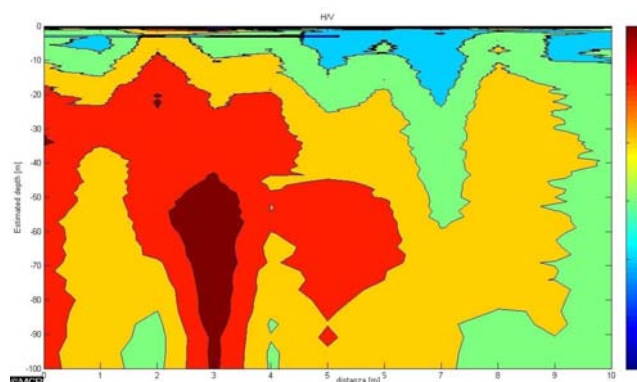


Fig. 11a - Inversión de la línea 3, sitio S, desde 0 hasta 100 m desde el p.c.

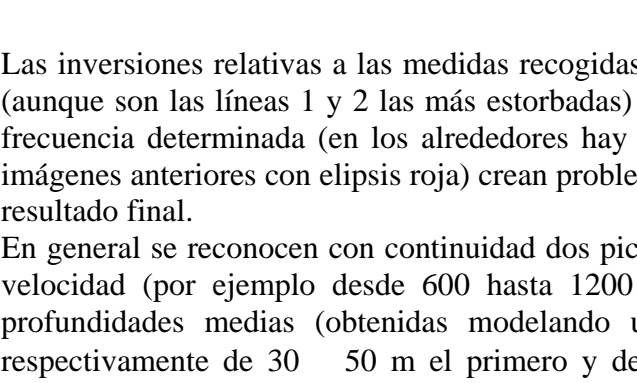


Fig. 9b - Zoom de los primeros 10 m desde la inversión de la línea 1 del sitio S.

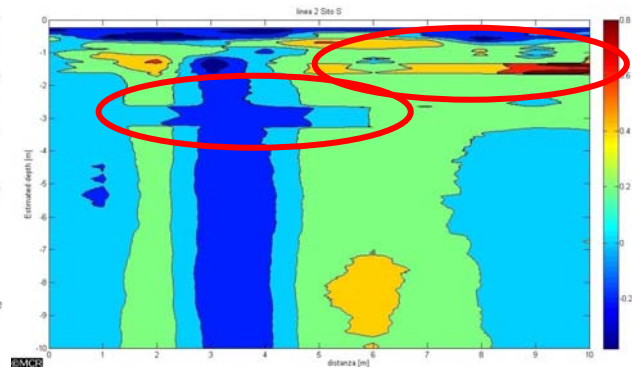


Fig. 10b - Zoom de los primeros 10 m desde la inversión de la línea 2 del sitio S.

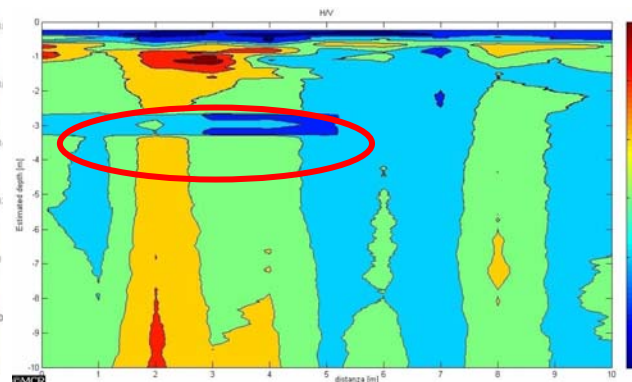
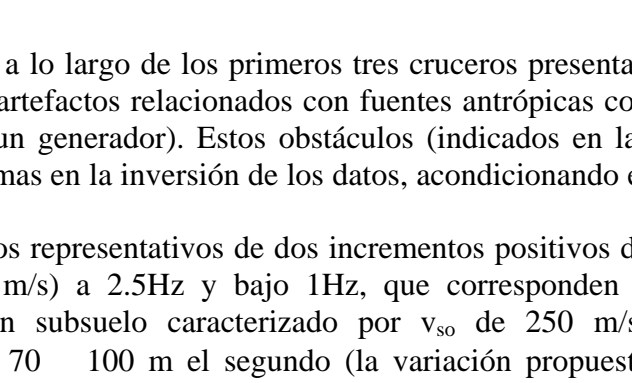


Fig. 11b - Zoom de los primeros 10 m desde la inversión de la línea 3 del sitio S.



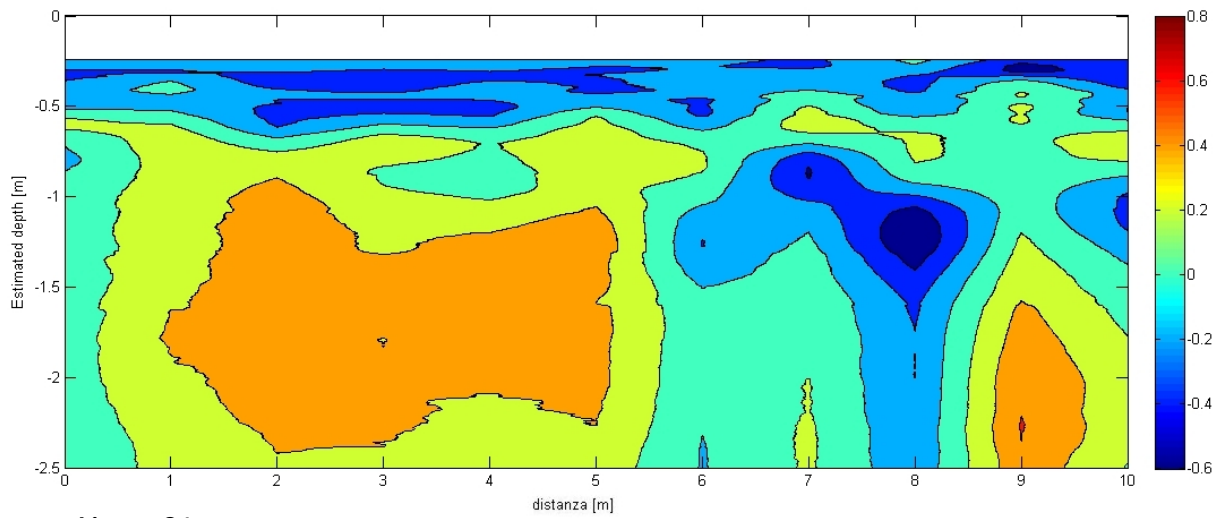
Las inversiones relativas a las medidas recogidas a lo largo de los primeros tres cruces presentan (aunque son las líneas 1 y 2 las más estorbadas) artefactos relacionados con fuentes antrópicas con frecuencia determinada (en los alrededores hay un generador). Estos obstáculos (indicados en las imágenes anteriores con elipsis roja) crean problemas en la inversión de los datos, acondicionando el resultado final.

En general se reconocen con continuidad dos picos representativos de dos incrementos positivos de velocidad (por ejemplo desde 600 hasta 1200 m/s) a 2.5Hz y bajo 1Hz, que corresponden a profundidades medias (obtenidas modelando un subsuelo caracterizado por v_{so} de 250 m/s) respectivamente de 30 - 50 m el primero y de 70 - 100 m el segundo (la variación propuesta disminuirá cuando conoceremos mejor el perfil de V_s del área más allá de las medidas de laboratorio).

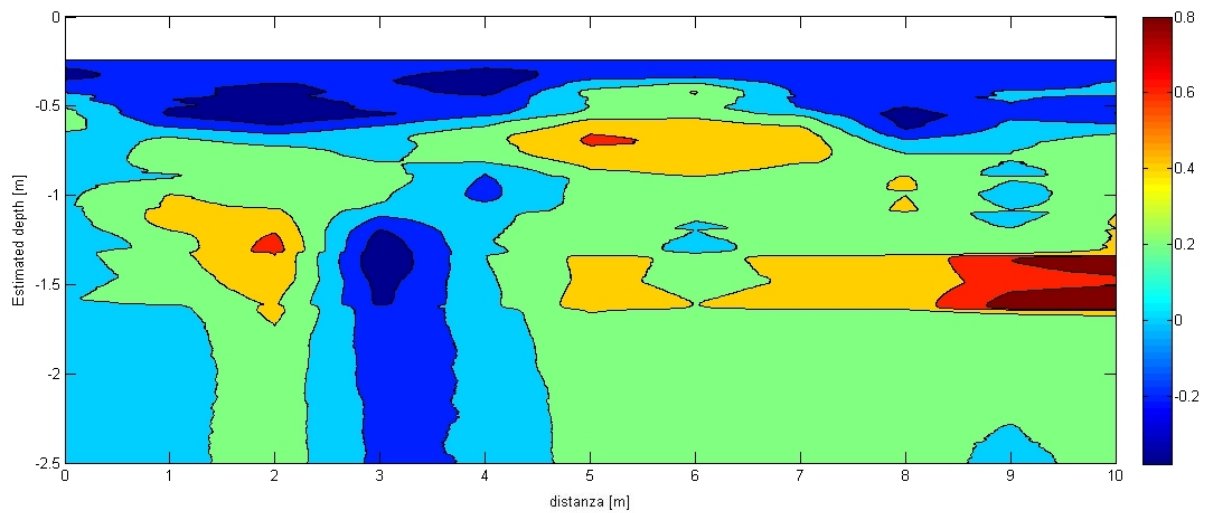
Es más interesante para la indagación paleontológica ocuparse de los primeros 2.5 m desde el plano campaña. Sin embargo es evidente que la información obtenida por los micro-temblores permite tener indicaciones estratigráficas importantes también a nivel regional.

En las tres secciones invertidas de la fig. 12 se puede ver que bajo los primeros 0.5 m, caracterizados por material blando que absorbe el ruido sísmico, se encuentra una situación lateralmente heterogénea con una diferencia de comportamiento sísmico entre el sector Este y el Oeste. De todas formas la cosa más interesante se nota en la primera parte de la línea 3 (que corresponde al estrato eléctrico n. 13 como indicado en el esquema inicial), que muestra un área oriental más compacta y

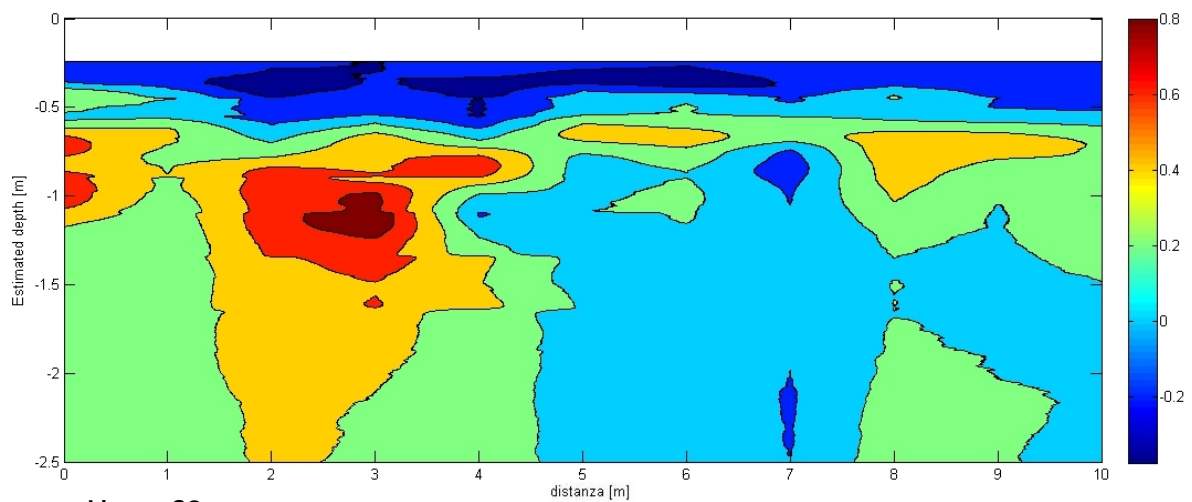
un área menos consistente al Oeste, lo que corresponde a los resultados de la tomografía eléctrica (fig. 6) y de las siguientes excavaciones mecánicas.



Linea S1



Linea S2



Linea S3

E

W

Fig. 12 - Particular de los primeros 2.5 m desde el p.c. de las líneas invertidas de sismica pasiva relativas al sitio S.

En definitiva la sismica pasiva, utilizada ampliamente en un contexto aparentemente impropio como el paleontológico, se ha revelado un método geofísico eficaz también para apreciar y describir pequeñas discontinuidades verticales y laterales que interesan mucho en la búsqueda de fósiles. Este método, integrado con otras indagaciones geofísicas, llega a ser estratégico para la selección de las áreas de excavación porque orienta y optimiza la actividad del paleontólogo. Además es evidente que la información obtenida por los micro-temblores permite tener indicaciones estratigráficas importantes también a nivel regional, y utilizar los datos en materias diferentes de la paleontología.

CONCLUSIONES

Concluyendo, la actividad de Pangea en el sector norteño del valle de El Cuy, en el sitio llamado “Valle de los Titanos”, se presenta como un sistema muy complejo e integrado para el que se preve, además de la investigación paleontológica y geofísica, un enfoque integrado con el patrimonio naturalístico en su colocación territorial.

Este área puede convertirse no solo en un objeto de interés paleontológico sino también en un ejemplo de soluciones tecnológicas utilizadas para la indagación, las modalidades de gestión y de fruición futura.

BIBLIOGRAFIA

- | | | | |
|--|------|--|---|
| BAKKER R.D. | 1989 | Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. | Geophysics, n.54: 1031-1037 |
| CASTELLARO S.,
MULARGIA F. &
BIANCONI L. | 2005 | Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica. | Geologia Tecnica e Ambientale, vol.3: 76-97. |
| HUGO C.A.
&LEANZA H.A. | 2001 | Hoja Geologica | 3969-IV, General Roca. Provincias de Rio Negro y Neuquén. Instituto de Geologia y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 308, 64 pp. Buenos Aires. |
| IBS-VON SEHT M.,
WOHLENBERG J. | 1999 | Microtremors measurements used to map thickness of soft sediments. | Bull.Seismol.Soc.America, vol 89: 250-259. |
| JOSÉ L. PANZA,
MARIELA P.
ETCHEVERRÍA,
NORMA E.
PEZZUTTI | 1999 | Geologia Argentina. | Subsecretaría de Minería de la Nación, Servicio Geologico Minero, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Editor: Caminos R., Coordinador Editorial: Ratelli D.C. Anales n. 29: 810 pp, Buenos Aires. |
| NAKAMURA Y. | 1989 | A method for dynamic charatceristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface. | QR of RTRI, vol.30: 25-33. |