

اثر  
پروفیسور مہندس پیترو لوناردی  
Prof. Ing. Pietro Lunardi

ترجمہ  
مہندس ناصر عامری  
Dott. Ing. Ameri Nasser

پروژہ و ساختن تونل  
بر اساس متد  
"تحلیل تغییرات کنترل شدہ در  
سنگها و خاکها"  
(A.DE.CO. RS)  
approach

سال 2003  
میلان - ایتالیا

# پروژه وتونل سازي بر اساس متد "تحليل تغييرات کنترل شده در سنگها و خاکها" (A.DE.CO. R-S)

## 1. مقدمه

کسانی که بدنبال طرح و ساختن يك اثر زیر زمینی میروند، باجبار بایستی با يك مسئله پیچیده مهندسی ساختمان (سیویل) مقابله کرده و برای آن راه حلی جستجو کنند. این پیچیدگی از آنجا ناشی میشود که در يك اثر زیر زمینی، نسبت به اثری که بر روی سطح زمین ساخته میشود، اطلاعات اصلی لازم در مرحله طرح و پروژه آن اثر کمتر قابل پیش بینی و دسترسی است.

فیل از هر چیز اینگونه پروژه ها همانند پیاده کردن طرحی بر روی سطح زمین نیستند که انجام آنها از طریق مونتاز پیشرونده مواد ( فولاد، بتون آرمه و غیره)، موادی که خصوصیات آنها چه از نظر ویژگیهای مقاومتی و چه از نظر تغییر شکل پذیری (deformabilità) از قبل شناخته شده است، ممکن شود، که در این صورت ساختار (struttura) مورد نظر در زیر فشارهایی مشخص (precisi carichi) قرار گرفته و تعادل بعدی خود را در يك شکل پایانی از قبل پیش بینی شده بدست آورد؛ در مورد يك اثر زیر زمینی، بر عکس، مسئله عبارت از دخالت بر روی حالت تعادلی است که از قبل موجود بوده و ما با کار خود، یعنی با عمل کاوش و حفاری، در زمینی که از آن شناختی تقریبی داریم، نوعی "مزاحمت" برنامه ریزی شده ایجاد میکنیم.

یکی دیگر از ویژگیهای پروژه های زیر زمینی، که کاملاً از طرف طراحان و تونل سازان شناخته شده، اما باندازه کافی روشن نگردیده است، عبارت از اینست که يك تونل، غالباً، در مرحله نهایی نیست که در يك ناحیه بیشترین فشار را، فشاری که از طرف پروژه تعیین شده است، تحمل میکند، بلکه مرحله میانی است که مرحله ی بسیار حساسی است، زیرا تأثیرات مزاحمت ناشی از حفاری تونل هنوز کاملاً بر روی پوشش نهایی پیاده نشده و فشارهای ازقبل موجود در توده سنگ که بدنبال حفاری تونل از راه خود خارج شده اند در اطراف تونل کانالیزه شده "پدیده آرک" و بدین طریق با عث میشوند که ناحیه ای با فشار بیشتر بر روی دیواره تونل ایجاد گردد.

این مرحله گذار از اهمیت ویژه ای برخوردار است بخصوص اگر در نظر بگیریم که تنها از کانالیزه شدن صحیح فشار موجود در اطراف تونل است که مقاومت و طولانی شدن عمر اثر زیر زمینی تعیین میگردد. کانالیزه شدن فشارها (stati tensionali)، همخوان با هویت فشارهای موجود، در رابطه با ویژگیهای مقاومت (caratteristiche di resistenza) و تغییر فرم پذیری (deformabilità) زمین، میتواند به طریق زیرین شکل گیرد (شکل 1):

1. در نزدیکی پروفیل (profilo) تونل
2. دور از پروفیل تونل
3. بدون هیچگونه تاثیر.

□ اولین حالت زمانی وقوع می یابد که زمین اطراف حفره و یا کاو (cavo) کاملاً در مقابل جریان فشارهای منحرف شده مقاومت کرده و در عین حال از نظر مقاومت و تغییر شکل یابی بصورت الاستیک جوابگو (risposta elastica) باشد.

□ دومین حالت زمانی رخ میدهد که زمین اطراف کاو (cavo)، از آنجا که قادر به تحمل جریان فشارهای منحرف شده نیست، بصورت آنلاستیک (risposta anelastica) جواب داده و در نتیجه متناسب با حجم زمینی که از عمل حفاری متاثر شده است پلاستیسیزه شده (plasticizzato) و تغییر شکل یابد. پدیده پلاستیسیزه شدن، که باعث افزایش حجم زمین مورد حفاری گشته و در طی شعاع

کاو انتشار میابد، باعث انحراف کانالهای فشار بطرف داخل توده زمین شده تا آنجا که وضعیت فشار سه بعدی با ویژگیهای مقاومت زمین هماهنگ گردد. در این شرایط "پدیده آرك-*effetto arco*" دور از دیواره های تونل و زمین اطراف آن، که اکنون دیگر تغییر یافته است شکل میگیرد و میتواند با استاتیک نهائی کاو تنها از طریق مقاومت باقیمانده (*la resistenza residua*) خود همکاری کند و در نتیجه پدیده های تغییر شکل (*fenomeni deformativi*) را با ابعادی قابل توجه با خود بدنبال آورد.

□ سومین حالت هنگامی رخ میدهد که زمین اطراف حفره (کاو) بهیچوجه قادر نیست جریان فشارهای منحرف شده (*tensioni deviate*) را تحمل کند و در نتیجه جواب زمین در عرصه شکستن (*rottura*) باقی مانده و سقوط حفره (کاو) را باعث میشود.

از بررسی این سه حالت نتیجه میشود که

□ "تأثیر آرك-*effetto arco*"، بعنوان يك پدیده طبیعی تنها در حالت اول ایجاد میشود؛

□ تأثیر آرك، در حالت دوم تنها زمانی بصورت طبیعی ایجاد میشود که زمین مورد نظر از طریق دخالتهای مناسب پایدار کننده (*interventi di stabilizzazione*) مورد "کمک" قرار گیرد.

□ تأثیر آرك، در حالت سوم از آنجائی که نمی تواند بصورت طبیعی تولید شود از طریق دخالتهای مناسب بر روی زمین مورد نظر، قبل از شروع حفاری (کاوش)، بصورت مصنوعی تشکیل میگردد.

اولین و مهمترین وظیفه طراح (*progettista*) تونل های زیر زمینی عبارت است از مطالعه این که آیا "تأثیر آرك" میتواند در موقع حفاری تونل شکل گیرد و این شکل گیری به چه گونه ای است و بدنبال آن باید شکل گیری پدیده آرك را با انتخاب روش حفاری و دخالتهای تثبیت کننده، متناسب با شرایط مختلف تنشی-تغییر شکل (*tenso-deformativo*) زمین تضمین کند.

برای پیشبرد این هدف طراح تونل نمیتواند از شناخت پدیده های زیرین صرف نظر کند (شکل 2)

1. وسیله (*mezzo*)، یعنی زمینی که در داخل آن عمل حفاری انجام می گیرد،
2. عملی (*azione*) که برای حفاری بر روی زمین انجام میشود،
3. واکنشی (*reazione*) که بدنبال عمل حفاری از طرف زمین انتظار میرود.

وسیله، یعنی زمین که در واقع "مواد ساختمانی" تونل است، موادی است که اگر با مواد سنتی مهندسی سویل مقایسه شود موادی کاملاً آنرمال است: نا پیوسته (*discontinio*)، ناهمگون (*disomogeneo*) و آنیزوتروپ (*anisotropo*) است. این وسیله در سطح زمین خصوصیات مختلفی را از خود نشان میدهد که به طبیعت نهادی (*natura intrinseca*) که مرفولوژی پوسته زمین را مشروط میکند، بستگی دارد، در حالیکه در عمق زمین ویژگیهای متغییری را نشان میدهد که تابع هویت تنش هائی است که بدان وارد میشود (مقاومت کسب شده) و بدین طریق رفتار زمین را در طی عمل حفاری مشروط میکند.

عمل، به مفهوم پیشروی سینه کار در داخل زمین است که پدیده ایست کاملاً دینامیک: پیشروی يك گالری را میتوان به يك دیسکی (سینه کار) -*fronte di scavo*) تشبیه کرد که با سرعتی خاص (*v*) در درون زمین پیش میرود و به دنبال خود خلایقی باقی میگذارد. این عمل پیشروی تولید کننده خلل هائی (*perturbazioni*) است چه در طول و چه در عرض زمین مورد حفاری که باعث تغییر تنش هائی است که از قبل در زمین موجودند.

در داخل ناحیه ای که در آن اخلاص ایجاد شده است، عرصه تنشهای از قبل موجود که میتوان آنها را همانند يك رتیکل خطوط جاری (*un reticolo di linee di flusso*) نشان داد، بعلاوه عمل حفاری از مسیر خود منحرف شده (شکل 1) و در نزدیکی سینه کار متمرکز گشته و باعث پیدایش پدیده های فوق تنشی (*sovratensioni*) میگردد. هویت این پدیده های فوق تنشی است که در هر نوع زمین، وسعت ناحیه ای که در آن خلل ایجاد شده است (زمین مورد حفاری در داخل خود متحمل تضعیف ویژگیهای ژئومکانیکی شده و بدنبال آن حجمش افزایش میابد) و در نتیجه، در رابطه با مقاومت توده سنگ  $\sigma_{gd}$ ، رفتار محل حفاری را تعیین میکند.

وسعت ناحیه ای که در نزدیکی سینه کار در آن خلل ایجاد شده از طریق شعاع تأثیر سینه کار یعنی *Rf* تعیین میشود، که در واقع این شعاع فضائی را مشخص میکند که طراح گالری (*progettista*) باید تمام توجه خود را روی آن متمرکز کند. عملاً در داخل این فضا است که تحول گذار از يك حالت تنشی سه بعدی به

حالت تنشی دو بعدی انجام میشود (ناحیه سینه کار و یا ناحیه گذار) و در نتیجه برای مطالعه ای دقیق، طراح گالری باید نه تنها متد محاسبه دو بعدی بلکه متد محاسبه سه بعدی را نیز بکار گیرد.

واکنش، چیزی جز جواب تغییر شکل یابی (*risposta deformativa*) زمین در مقابل عمل حفاری نیست. این واکنش در آغاز سینه کار، در ناحیه ای که در آن بدنبال فوق تنشهای ایجاد شده در زمین اطراف ناحیه حفاری اختلال ایجاد کرده است، بوجود می آید که بستگی دارد به مقاومت زمین و به متدی که برای حفاری تونل بکار گرفته میشود و میتواند باعث ورود (*l'intrusione*) مواد خاک و سنگ بدخل تونل گردد که متعلق به فضای خارج از پروفیل تئوریک تونل است. ورود ماتریال بدخل تونل به مفهوم ناپایداری دیواره های تونل می باشد.

سه شرایط اصلی میتواند واقعیت یابد (شکل 3)

اگر در مرحله پیشروی تونل در گذار از وضعیت کوآسیون (*coazione*) سه بعدی به وضعیتی دو بعدی وتضعیف پیشرونده کوآسیون در سینه کار ( $\sigma_3=0$ ) باعث شود که تنشهای ایجاد شده در آغاز سینه کار در عرصه الاستیک باقی ماند، در این حالت دیواره آزاد شده (سینه کار) با تغییر شکل یابی های محدود و کاملاً قابل صرف نظر بصورت پایدار باقی میماند. در این حالت کانالیزه شدن تنشها در اطراف گالری، "تأثیر آرك" در نزدیکی پروفیل حفاری، بصورت طبیعی شکل میگیرد.

اگر بر عکس، تضعیف پیشرونده وضعیت کوآسیون در سینه کار ( $\sigma_3=0$ ) باعث شود که، در آغاز، زمین سینه کار تنشهایی در عرصه الاستوپلاستیک ایجاد کند (*campo elastoplastic*) در این حالت واکنش نیز اهمیت میابد و دیواره های آزاد سینه کار بصورت الاستوپلاستیک بسوی داخل تونل تغییر شکل داده و باعث ایجاد پایداری کوتاه مدت میگردد (*stabilità a breve termine*). یعنی در اثر عدم حضور دخالتهای پایدار کننده (*interventi*)، پدیده پلاستیسیزه شدن (*plasticizzazione*) آغاز گشته و با انتشار خود در مسیر طول و شعاع اطراف تونل باعث جابجائی بیشتر "تأثیر آرك" بسوی داخل توده زمین میگردد: تنها با دخالتهای پایدار کننده مناسب میتوان دور شدن پروفیل تئوریک حفاری را تحت کنترل قرار داد.

اگر، سرانجام، تضعیف و نابودی پیشرونده فشار در سینه کار ( $\sigma_3=0$ ) باعث شود که در زمین، در آغاز سینه کار، فشارهایی در عرصه شکستن (*rottura*) زمین تولید شود، جواب تغییر شکل (*la risposta deformativa*) قابل قبول نبوده و در این صورت شرایطی ناپایدار در زمین در آغاز سینه کار ایجاد میشود که تشکیل "تأثیر آرك" را غیر ممکن میسازد: این حالت مربوط میشود به زمینهای ناهمگون و بدون لگام (*incoerenti o sciolti*) که در داخل آنها از آجائی که بصورت طبیعی پدیده آرك ساخته نمیشود باید این آرك را بصورت مصنوعی ایجاد کرد. نتیجه گیری میشود که تشکیل پدیده آرك و جایگاه آن نسبت به ناحیه حفاری شده (میدانیم کبه پایداری گالری، چه در کوتاه مدت و چه در بلند مدت، وابسته بدین اطلاعات است) از طریق کیفیت و هویت "جواب تغییر شکل یابی" زمین در اثر عمل حفاری نشان داده میشوند.

با در نظر گیری این نکات، بیش از 25 سال پیش شروع به مطالعه عمیق روابط موجود بین تغییر وضعیت های تنشی زمین در اثر حفاری گالری و بدنبال آن جواب تغییر شکل یابی زمین شدیم.

## 2. تحقیق در باره جواب ناشی از تغییر شکلی یابی (*risposta deformativa*)

آنالیز جواب ناشی از تغییر شکل یابی توده سنگ (معلول) در طی تحقیقی، چه از نظر تجربی که تئوریک بسط یافت، که در واقع 25 سال پیش آغاز شد و هنوز ادامه دارد.

□ "اولین مرحله تحقیق" بویژه به مشاهده سیستماتیک رفتار تنشی-تغییر شکل یابی تونل های مختلف در مرحله ساختن آنها اختصاص داده شد، البته با توجهی ویژه به سینه کار و نه تنها ناحیه حفاری شده که در گذشته معمول بوده است. بزودی جواب ناشی از تغییر شکل یابی زمین (معلول)، همانند موضوع مورد مطالعه، پیچیدگی خود را نشان داد، و

بدنبال آن تعریف کامل جواب تغییر شکل یابی زمین و در نتیجه بدست آوردن معیار هائی نوین به يك ضرورت بدل شد (شکل 4):

□ **هسته پیشروی:** به مفهوم حجم زمینی است که در آغاز سینه کار جای دارد، و دارای شکلی حدوداً سیلندری است با ابعادی عرضی و طولی به مقیاس قطر گالری.

□ **برآمدگی سینه کار (Pestruzione):** که بعنوان عنصر اصلی جواب تغییر شکل یابی زمین در مقابل عمل حفاری است، که در بخش اعظم خود در داخل هسته پیشروی رشد یافته، و تابع مقاومت و توانایی تغییر شکل یابی هسته و عرصه تنشهای اصلی است که بر آن وارد میشود. این پدیده در واقع خود را سطح محدود سینه کار، در طی طول محور تونل یا بشکل هندسی آسیال-سیمتیک (شکم دادن سینه کار) و یا بشکل بر گشت ثقلی (چرخش سینه کار) نشان میدهد.

□ **ما قبل همگرایی ناحیه مورد حفاری (preconvergenza della )**

**(cavità):** که به مفهوم همگرایی پروفیل تئوریک در آغاز سینه کار است، که کاملاً بویژگیهای مقاومت و تغییر شکل پذیری هسته پیشروی در رابطه با وضعیت تنش اصلی (stato tensionale originario) بستگی دارد.

**بدنبال آن در "دومین مرحله تحقیق"** بر مبنای آنالیزی عمیق، بویژه از نظر کروئولوژیک، با مشاهده پدیده های ناپایداری در طی اجرای حد اقل 400 کیلومتر گالری در زمینهای با ویژگیهای متفاوت با شرایط تنش و تغییر شکل یا بی مختلف، سعی در اثبات این شد که رابطه ای بین رفتار تنش و تغییر شکل یابی سیستم سینه کار-هسته پیشروی (بر آمدگی سینه کار و ما قبل همگرایی) و خود ناحیه مورد حفاری (همگرایی) وجود دارد.

هنگامی که تائید شد که جواب تغییر شکل یابی زمین در کل خود (بر آمدگی سینه کار، ما قبل همگرایی و همگرایی) بصورت سیستماتیک به سر سختی هسته زمین در سینه کار (که در واقع علت اصلی است) بستگی دارد، در مرحله سوم که **"سومین مرحله تحقیق"** نام گرفته است، فعالیتها بر روی این متمرکز شد تا اثبات شود که تا چه حدی با تاثیر گذاشتن بر روی سرسختی هسته میتوان به کنترل جواب تغییر شکل یابی ناحیه مورد حفاری (همگرایی) دست یافت.

برای رسیدن به این هدف رفتار تنش و تغییر شکل یابی هسته پیشروی، با در رابطه قرار گرفتن سیستماتیک با ناحیه مورد حفاری از نظر گاه پایداری و تغییر شکل یابی، چه با حضور و چه با عدم حضور دخالتهای همایتي و تقویت هسته مورد مطالعه قرار گرفت.

## 2.1 اولین مرحله تحقیق

اولین مرحله تحقیق (مشاهده سیستماتیک رفتار تنشی و تغییر شکل یابی سیستم سینه کار- هسته پیشروی) از طریق انجام کنترل هائی چه از دیدگاه ساختاری و چه از نظر عینی بر روی رفتار هسته پیشروی و دیواره های ناحیه مورد حفاری از نظر پایداری و از نظر تغییر شکل یابی انجام شد. در این مرحله تحقیق، پدیده های زیرین مورد توجهی ویژه قرار گرفتند (شکل 3):

الف) بر آمدگی سینه کار  
ب) ما قبل همگرایی ناحیه مورد حفاری  
پ) همگرایی ناحیه مورد حفاری (کوچک شدن سطح تئوریک ناحیه حفر شده قبل از سینه کار).

در رابطه با تیپولوژی های مختلف تغییر شکل یابی، که در بالا یاد شد، مشاهدات عینی ای که بصورت سیستماتیک در داخل ناحیه مورد حفاری انجام شدند، این امکان را دادند که تا پدیده های ناپایداری مشاهده شده بر روی سینه کار و یا اطراف آن را (هر آنگاه که ماتریال و رای پروفیل تونل در فضای داخلی تونل میریزد می توان از ناپایداری سخن بیان آورد) به آنها نسبت داده شوند:

الف) جدا شدن هائی ناشی از نیروهای ثقلی، اسپلاکاز (splaccaggi) و ریزش سینه کار (crollo fronte) در رابطه با سیستم سینه کار- هسته پیشروی؛  
ب) جدا شدن های ناشی از نیرو های ثقلی، اسپلاکاز و سقوط ناحیه مورد حفاری (collasso cavità) در رابطه با حلقه اطراف محل حفاری.

## 2.2 دومن مرحله تحقیق

بعد از مشخص کردن تیپولوژی های تغییر شکل و اشکال ظهور نا پایداری که میتوانند بر روی هسته درسینه کار ویا در اطراف ناحیه حفر شده تونل ایجاد شوند، این سوال پیش آمد که آیا از طریق مشاهده اولین پدیده ها (تیپولوژی های تغییر شکل)، این امکان وجود دارد که بتوان بطریقی نوع و هویت دومین پدیده ها ( اشکال ظهور ناپایداری در هسته و یا اطراف ناحیه کار) را تشخیص داد؟. در اینجا در واقع دومین مرحله تحقیقات [اثبات حضور لگام احتمالی بین رفتار تغییر شکل یابی سیستم سینه حفاری - هسته ی پیشروی (برآمدگی و ماقبل همگرایی) و آنچه مربوط به ناحیه مورد حفاری (همگرایی)] آغاز شد. این مرحله از طریق مطالعه، مشاهده و کنترل پدیده های تغییر شکل یابی سینه کار و ناحیه مورد حفاری، با توجه ای ویژه به هویت و تداوم کروئولوژیک که تابع سیستم ها، مراحل و ریتم حفاری که هربار بکار گرفته میشود انجام می پذیرد .

قبل از تشریح نتایج بدست آمده در این مرحله تجربی، لازم است که بصورت خلاصه از طریق چند مثال مهم مشاهدات انجام شده تشریح گردد.

### 2.2.1 مثال ترافور اتوبان (Traforo autostradale) فره جوس (1975)

این ترافور (تونل در مسیر سلسله کوهها) اتوبان بیش از 95% از پیشروی خود را (13 کیلومتر طول و با روباره ای بارتفاع 17.0 متر)، در زمینی با سازند متامورفیک کالچه شیت (metamorfica di calcescisti) با لیتولوژی همگون طی کرد.

پروژه تونل بر مبنای تحقیقات ژئولوژیکی و ژئو مکانیکی تونل راه آهنی که در مسیری نزدیک انجام شده بود (انجام شده در سال 1860) و همچنین تونلهای سرویس، قرار داشت.

آزمایشهای مقاومت و قابلیت تغییر شکل یابی که بر روی نمونه ها (campioni) کالچه شیت انجام شده بود پارامترهای متوسط ژئوتکنیکی زیرین را بدست دادند:

-زاویه اصطکاک : 35 درجه؛

-کوئزیونه (coesione) : 30 کیلو گرم /سانتی متر مربع (3 مگا پاسکال) ؛

مدول الاستیک : 100000 کیلو گرم / سانتی متر مربع (10.000 مگا پاسکال) .

در داخل پروژه اصلی (1975) پیش بینی ای در باره رفتار تغییر شکل یابی تونل انجام نشده بود، زیرا این تیپ بررسی در آن دوره معمول نبود.

با در نظر گیری تجربیات بدست آمده از طریق سامولینر (Sommeiller) در طی اجرای تونل راه آهن در مسیری نزدیک، که حدود یک قرن قبل انجام شده بود، حفاری بروش تمام مقطع با پایدار کردن فوری حلقه سنگ، در اطراف تونل مورد حفاری، با ضخامت باندازه 4.5 متر از طریق پیچ های اکتیو (bulloni attivi) و آنکوراژ نقطه ای (puntuale)، که با بتون پاشی (spritz-beton) همراه است تحکیم میابد. پوشش نهایی از طریق بتون (calcestruzzo) با ضخامت 70 سانتی متر ریخته میشود تا اثر را تکمیل نماید.

مطالعه پدیده های تغییر شکل یابی در واقع بخش اعظم مشاهدات و اندازه گیری های انجام شده را در طی حفاری تونل (in corso d'opera) تشکیل داد تا بدین طریق بتوان جواب توده سنگ را در مقابل دخالتی پایدار کننده تحت کنترل قرار داد، البته با در نظر گیری این پدیده استثنائی که در مقابل ما تونلی در حال حفاری بود که با یک توده همگون (کالچه شیت) تحت تأثیر یک میدان تنش رشد یابنده و در عین حال روباره ای متغیر (بین 0 و 1700 متر) قرار داشت.

تا حدود 500 متر روباره، از آنجائی که توده زمین از نظر موقعیت تنش در عرصه الاستیک باقی میماند، تونل از خود رفتاری با سینه ی کار پایدار (a fronte stabile) از خود نشان میداد، با حضور پدیده های تغییر شکل یابی قابل اغماض و با نشانه هایی از ناپایداریهای محدود بر روی بر روی

سینه ی کار تونل و ناحیه مورد حفاری که تنها ناشی از جدا شدن قطعاتی از سنگ در اثر نیروهای ثقلی است.

با افزایش روباره و همگام با آن افزایش وضعیتهای تنشی، توده سنگ وارد عرصه الاستوپلاستیک شده و تونل رفتاری با سینه ی کار پایدار در کوتاه زمان (a breve termine)، با حضور پدیده های همگرایی در اطراف محل حفاری در مقیاس دسی متر (همگرایی قطری 10-12 سانتی متر) بخود میگرفت. حلقه آرمه شده (armata) از سنگ بصورت موثر با استاتیک تونل همکاری کرده و بدینطریق همگرایی را محدود کرده و از بروز هر نشانه ای از ناپایداری جلوگیری میکند.

پیشروی در حفاری، بعلت کیفیت خوب سنگ، بدون مشکل با سرعتی حدود 200 متر در ماه ادامه یافت، تا جایی که در 5.173 کیلومتر کار حفاری در زمان تعطیلات تابستان در ناحیه ای با توده همگون (omogenea) و با روباره ای به ارتفاع حدود 1200 متر، برای مدتی کوتاه متوقف شد.

ایستگاه اندازه گیری همگرایی شماره 6 که به محض حفاری در فاصله یک متری سینه ی کار قرار داده شده بود (کیلومتر 5.172) بعد از 15 روز توقف، تغییر شکلی ماکسیم حدود 10 سانتی متر از خود باقی گذاشت (شکل 4).

بدون شك این تغییر شکل یابی تنها ناشی از پدیده فلوآژ (fluage) یعنی پدیده ناشی از وزن ثابت (carica costante) بوده، زیرا در طی این زمان، سینه ی کار، کاملاً بدون تغییر باقی مانده بود. با از سر گرفتن عملیات حفاری همگرایی قطری، در ستسیون (sezione) مورد بحث، رشدی شدید و یکباره در حول اندازه هائی یافت که هرگز دیده نشده بود، تا جائیکه بعد از سه ماه به حدود 60 سانتی متر رسید در حالی که جلوتر، با پیشروی ده ها متر همگرایی اندازه هائی طبیعی از خود نشان میداد (همگرایی قطری حدود 20 سانتی متر).

باید در نظر داشت که، قبل از توقف کارها، ناحیه محل حفاری تا فاصله یک متری سینه کار با بیش از 30 پیچ شعاعی (bulloni radiali) در هر مترخطی (lineare) استحکام یافته بود، بدون اینکه کوچکترین دخالتی بر روی هسته انجام گیرد. با از سر گیری پیشروی، دخالت تثبیت سازی حوالی ناحیه مورد حفاری با همان شدت قبلی و با همان ریتم (cadenze) از سر گرفته شد.

از گفته های بالا نتیجه گرفته شد که، در زمان توقف تونل مورد بحث، هسته زمین در سینه ی کار (nucleo al fronte)، که از طریق دخالتهای تحکیمی مورد کمک واقع نشده بود، زمان کافی در اختیار داشت تا بصورت الاستوپلاستیک در خود بر آمدگی ایجاد کند، و باعث ایجاد پدیده ی تنش زدائی (detensionamento) از طریق فلوآژ توده زمین در حلقه اطراف گردد (ما قبل همگرایی) که به نوبه خود این پدیده به عامل افزایش قابل توجه همگرایی ناحیه مورد حفاری نسبت به شرایط نرمال گردد.

## 2.2.2 مثال تونل سن استفان-S.Stefano (1984)

تونل سن استفان که بخشی از راه آهن نوین جنوا- ونی میلیا (Genova-Ventimiglia) است و دارای دو خط میباشد در واقع بین سن لورنس آل ماره (S.Lorenzo al Mare) و اسپدالتو (Ospedaletto) قرار دارد.

این اثر از مسیر سازند فلیش (flysch) بنام هلمیناتوید (Helminatoid) که ویژگی ناحیه لیگور شرقی (Liguria occidentale) است، میگذرد. این سازند از شیست های رسی (scisti argillosi) و رسی-ارناچه ئی (argilloso-arenacei) یا قشرهای نازک آرناریه (arenarie) و کالکاری از مارنو (calcarei marnosi) تا خوردگی پیدا کرده و کاملاً ترک خورده است. عنصر شیست های رسی کاملاً شکلی ورقه ای دارند. ناحیه

ای کاملاتکتونیزه شده (tettonizzato) گذار از بخش H2 به بخش H1 (بصورت غالب کالکارئو - مارنوزو) سازند را نشان میدهد.

اندازه گیری مقاومت نمونه ها در لابراتوار زاویه های اصطکاک را بین 2 و 24 درجه نشان میدادند و کوئزیونه (coesione) تغییراتی از صفر تا 15 کیلوگرم / سانتی متر مربع (1.5 مگا پاسکال) از خود نشان داد.

در این حالت نیز هنگامی که فعالیت های حفاری در 1982 آغاز شد، هیچ پیش بینی ای در مورد رفتار تغییر شکل یابی تونل انجام نشده بود.

پروژه اصلی پیشروی حفاری را بصورت تمام مقطع (piena sezione) پیش بینی کرده بود، با آرک های فولادی (centine) و بتون پاشی (spritz-beton) بعنوان پوشش مرحله اول و یک حلقه بتون (calcestruzzo) ضخیم با ضخامت تا 110 سانتی متر بعنوان پوشش نهائی در نظر گرفته بود.

در طی پیشروی حفاری میتوان گفت که تا جایی که پیشروی در شرایط الاستیک پیش میرفت پدیده های تغییر شکل یابی سینه کار و ناحیه حفاری کاملاً قابل صرف نظر بوده و نا پایداری های نقطه ای تقریباً وجود نداشتند (رفتاری با سینه کار پایدار - comportamento a fronte stabile).

با ورود حفاری به ناحیه ای که تحت تاثیر موقعیت های تنشی باقیمانده (stati tensionali residui) ناشی از پدیده های تکتونیک بود و در عین حال توده زمین که در شرایط الاستوپلاستیک قرار داشت، نشانه هایی از تغییر شکل یابی، حتی در رابطه با ظهور فشارهای نامقرون (spinte dissimetriche)، در زمین، که ناشی از حضور توده های سرسخت پخش شده در ماتریس پلاستیک بود، باعث شدند تا مشکلاتی بوجود آیند. همزمان، بر روی سینه کار شاهد جدا شدن تکه هایی از زمین بودیم که در واقع نشانه ای روشن از پدیده حرکت بر آمدگی (estrusivo) که مخصوص موقعیتی است که سینه ی کار دارای پایداری در کوتاه زمان است، در حالی که پدیده های همگرایی تغییراتی در مقیاس دسی متر از خود نشان میدادند.

در یک لحظه، از آنجا که وضعیت تنشی توده سنگ تا حد عرصه شکست (campo della rottura) پیش رفته بود، باعث میشد که سینه ی کار در کلیت خود ریزش نشان دهد (شرایط سینه ی کار ناپایدار - situazione di fronte instabile)، و بدنبال آن، در طی چندین ساعت، به سقوط ناحیه مورد حفاری، با همگرایی قطری بیش از 2 متر، حتی در بخش حفاری شده تونل (حدود 30 متر)، که از طریق پوشش اولیه (سوار کردن آرک های فولادین و بتون پاشی) تحکیم یافته بود، بینجامد (عکس شماره 1).

در اینجا مشاهده میشود که، تیپ زمین حفاری شده که در این سه شرایط تنشی- تغییر شکل یابی مورد بررسی قرار گرفته است عمدتاً از یک نوع بوده و تنها سقوط ناحیه حفاری شده با همگرایی ای در مقیاس متر، حتی در بخشی از تونل که با دخالت های تحکیم یافته بود، تنها زمانی واقعیت یافت که سهم ناشی از سرسختی هسته در سینه ی کار در نظر گرفته نشده بود.

## 2.2.3 مثال گالری تا س سو - Tasso (1988)

(

این گالری جزء یک سری از گالری های است که در اواسط سالهای 80 ساخته شده و متعلق به خط نو و مستقیم (direttissima) رم-فلورانس میباشد.

ناحیه ای که گالری نامبرده در آن جای دارد متعلق به باچین لاگوستره (lacustre) والدارنو سوپریوره (Valdarno Superiore) است که از شن لیموز و لیمهای شنی (sabbie limose e limi sabbiosi) که در سطوح رس لیموز (argillo-limoso) که دارای سطوحی از شنهای اشباع شده از آب میباشد ساخته شده است.

پروژه اصلی، عمل حفاری را بر روی نصف سینه کار (a mezza sezione)، همراه با تقویت دیواره ها از طریق آرک های فولادین و بتون پاشی پیش بینی کرده بود (centine e spritz-beton). آرک های فولادین در قسمت پایه های خود از طریق تیرانت (tiranti) نسبتاً افقی بلوک شده اند. این تیرانت ها که بر روی میکرو پالها (micropali) و یا بر روی ستون های از زمین که از طریق جت گراوتینگ (jet-grouting) تحکیم یافته اند ساخته شده اند.

در ابتدای عمل حفاری، یعنی در شرایط پایداری سینه ی کار در کوتاه مدت، پدیده های تغییر شکل یابی قابل توجهی در سینه ی کار یا در ناحیه ی مورد حفاری بوجود مورد مشاهده قرار نگرفت.



با افزایش ارتفاع روباره و در نتیجه وضعیت تنشی در زمین، و همچنین بعلت ضعف جنبه های ژئومکانیک زمینهای مورد حفاری، بسرعت، از زمینی با شرایط سینه ی کار پایدار در کوتاه زمان به زمینی با سینه ی کارنا پایدار راه یافتیم. بدنبال ریزش سینه ی کار، با این که پیشروی بصورت نصف سینه کار (mezza sezione) انجام میشود، در طی تنها یک شب، ناحیه ی مورد حفاری به همگرایی قطری (convezgenza diametrale) حدود 3-4 متر رسید و حدود 30-40 متر از گالری حفاری شده را که از طریق آرك های فولادین و بتون پاشی استحکام یافته بود، بسوی ریزش کشاند (شکل 26).

## 2.2.4 نتایج دومین مرحله تحقیق

از مطالعه و تحلیل مثالهای بالا و مثالهای مشابه، که در اینجا بحث را بدرآزا میکشاند، نتایج مختلف قابل توجهی بدست آمد. بویژه، تجربه فره جوس (Frejus) با نشان داد که:

□ هنگامی که عمل حفاری در شرایط الاستوپلاستیک انجام میشود، ثابت نگهداشتن وتداوم ریتم حفاری (cadenza di scavo) از اهمیت ویژه ای برخوردار است، زیرا بدین طریق ازتغییر شکل یابی (دفرماسیون) هسته جلوگیری میشود: با این روش ممکن است از زایش پدیده های همانند بر آمدگی سینه کار (استروزیون) و ماقبل همگرایی (پره کنورجنسا) جلوگیری کرد، که این پدیده ها در واقع مقدمه ایست برای پدیده های بعدی که همگرایی ناحیه ی مورد حفاری را بدنبال می آورند.

ازدیگر تجربه های که بصورت نمونه نام برده شده و یا تجربه های مشابه، این نتیجه نیز بدست میآید که:

□ ریزش هسته و سقوط ناحیه ی مورد حفاری غالباً در پیوند با هم وقوع می یابند، و بویژه، پدیده سقوط ناحیه مورد حفاری متعاقب پدیده ریزش هسته میباشد.

از دومین فاز تحقیق چنین نتیجه می شود که (شکل 5):

1. حضور یک لگام تنگاتنگ بین پدیده بر آمدگی هسته (estrusione del nucleo) در سینه ی کار و پدیده های ماقبل همگرایی (پره کنور جنسا) و همگرایی ناحیه ی مورد حفاری؛
  2. حضور لگام های تنگا تنگ بین ریزش هسته ی پیشروی و سقوط ناحیه مورد حفاری، حتی اگر از قبل از طریق دخالتهای استحکام یافته باشد؛
  3. که پدیده های تغییر شکل یابی (دفرماتیو) مربوط به ناحیه ی مورد حفاری از نظر کروئولوژیک همیشه متعاقب و وابسته به پدیده های هستند که هسته زمین را در سینه ی کار در بر میگیرند.
- علاوه بر آن این ضرورت روشن میشود که باید طوری عمل کرد که پدیده آرك، که تشکیل آن همانگونه که میدانیم، ضامن پایداری تونل میباشد، در آغاز سینه ی کار ایجاد شود، و به ایفای نقش خود، در ستسیونی مشخص، حتی بعد از دور شدن سینه ی کار از ستسیون مورد نظر نیز، ادامه دهد.

## 2.3 سومین مرحله تحقیق

نتایج دومین مرحله تحقیق این نظر را، که از قبل در اندیشه ما پدید آمده بود، تقویت کرد که تغییر شکل یابی (دفورمه شدن) هسته پیشروی یک تونل علت اصلی پروسه های تغییر شکل یابی و یا به بیانی دفرماتیو در کلیت خود میباشد (بر آمدگی سینه ی کار، ماقبل همگرایی و همگرایی) و بدنبال آن، سر سختی هسته ی پیشروی، نقشی اساسی در پایداری خود هسته در کوتاه مدت و دراز مدت ایفاء میکند.

اگر نقطه ای مانند A را بر روی پروفیل فوفانی تونل (calotta)، که باید در آینده حفاری شود، در نظر بگیریم، کاملاً روشن بنظر میرسد که جابجایی شعاعی (رادیال) این نقطه u) ماقبل همگرایی) با نزدیک شدن سینه ی کار حفاری، به مقاومت و قابلیت دفرمه شدن زمینی که در داخل پروفیل مورد حفاری جای گرفته است، بستگی دارد.

اگر روند جابجایی رادیال این نقطه بر روی یک دیاگرام  $p-u$  ( در اینجا  $p$  عبارت از فشار حفاظتی *pressione di contenimento* است که در جهت رادیال بر روی  $A$  عمل میکند) به نمایش گذاشته شود، می بینیم که (شکل 6) تا هنگامی که سینه ی کار در دور دست قرار دارد (فاصله از  $A$  بیشتر از شعاع تاثیر- *raggio d'influenza* سینه ی کار یعنی  $R_f$  است) شرایط تنشی در نقطه ی  $A$  بدون تغییر می ماند (فشار حفاظتی رادیال *pressione di contenimento radiale po* برابر است با فشار اصلی- *pressione originaria*). با نزدیکی سینه ی کار، برعکس، یعنی با کم شدن ضخامت هسته پیشروی بین  $A$  و سینه ی کار، در نتیجه فشار حفاظتی رادیال  $p$  نیز تقلیل میابد:  $A$  شروع به جابجایی رادیال بطرف داخل ناحیه ای میکند که در آینده مورد حفاری قرار خواهد گرفت. ابعاد جابجایی، همانگونه که گفته شد و بنظر روشن میرسد، نه تنها تابع ویژگیهای ژئومکانیک زمینی است که تونل را محاط کرده است بلکه به تنش های موجود و قابلیت دفرمه شدن هسته پیشروی، که تعادل آن را تضمین میکند، بستگی دارد.

بعد از گذار سینه ی کار، از طرفی دیگر، جابجایی رادیال نقطه  $A$  هنوز، چه در عرصه ی الاستیک و چه در عرصه ی پلاستیک ادامه میابد. این جابجایی تابع تنشهای است که از قبل موجودند و در عین حال به ویژگیهای زمین موجود در بخش فوقانی (استرادوس) تونل و فشار حفاظتی رادیال ناشی از دخالتهای پایدار کننده است (پوشش اولیه و پوشش نهایی) بستگی دارد که در واقع وظیفه تعادل نقطه  $A$  بدانها سپرده شده است.

بر روی دیاگرام کیفی شکل 6، با در نظر گیری مساوی دیگر شرایط، روند تغییر شکل یابی نقطه  $A$  در حالتی که هسته پیشروی قابلیت دفرمه شدن داشته باشد (منحنی 1) و در حالتی که هسته پیشروی سرسخت باشد (منحنی 2) به نمایش گذاشته شده است: بروشنی، تا لحظه ی گذار سینه ی کار، تغییر شکل یابی های رادیال که در اثر کاهش فشار رادیال حفاظتی  $p$  (*pressione radiale di contenimento*) در نقطه ی  $A$  ایجاد میشود، در حالت هسته ی سرسخت (*nucleo rigido*)، کمتر از هنگامی است که هسته دارای قابلیت دفرمه شدن است.

علاوه بر آن احتمال می رود که حتی بعد از گذار سینه ی کار، یعنی هنگامی که نیروی حفاظتی عمل شده از طرف هسته پیشروی حذف شود، دو منحنی 1 و 2 کاملاً جدا مانده (*distinte*) و جابجایی نقطه  $A$  تابع تاریخ تنشی - تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) شود که در گذشته ی خود متحمل شده است. نتیجه میشود که قابلیت دفرمه شدن هسته ی پیشروی عاملی است که قادر است جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) توده زمین مورد حفاری را مشروط کرده و در واقع همچون علت حقیقی آن در نظر گرفته شود.

حال اگر قابلیت دفرمه شدن هسته علت اصلی جواب دفرماتیو توده مورد حفاری باشد، این فرضیه بنظر منطقی میرسد که بتوان از هسته همانند ایزاری تازہ در کنترل تغییر شکل یابی (*deformabilità*) هسته بهره گیری کرد و در نتیجه با دخالتهای لازم بر سر سختی هسته افزود.

برای اثبات این که تا چه حد این عمل بما امکان میدهد تا جواب دفرماتیو ناحیه حفاری را مورد کنترل قرار دهیم فعالیتهای خود را بر روی امکان تنظیم سر سختی هسته پیشروی متمرکز کردیم .

برای انجام این کار، مطالعه و تنظیم تکنولوژی ای نو و متد های تازه ی دخالتی (*intervento*) بیک ضرورت بدل شد، دخالتهایی که امکان میدادند تا بر روی هسته عمل کرده بطوری که بتوان آن را از حالتی ماوراء تنشی (دخالتیهای حمایتی- *interventi protettivi*) حمایت کرد و ویژگیهای مقاومت و قابلیت تغییر شکل یابی (دخالتیهای تقویتی- *interventi di rinforzo*) آن را حفظ و یا بهبود بخشید. این تیپ های ویژه دخالت ها " دخالتیهای حفاظتی (*interventi conservativi*) " نام دارند و یا بنام " دخالتیهای ما قبل حفاظتی ناحیه ی حفاری (*interventi di precontenimento del cavo*) " شناخته شده اند تا بتوان آن را از حفاظت ساده (*semplce contenimento*) که در این حالت تنها بر روی اطراف محل حفاری شده، در واقع بر روی ناحیه ی قبل از سینه کار انجام میگردد، تمیز داد (شکل 7) [1].

ایده های نو در هنگام حفاری چندین تونل که در شرایط تنشی- تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) بسیار پیچیده قرار داشتند تجربه شدند. در بخش بعدی در باره تجربه حفاری در تونلی بسیار پر اهمیت، از نظر تجربی، سخن خواهیم گفت.

## 2.3.1 تونل و استو (VASTO)

مسیر این تونل، بخشی از خط راه آهن آنکونا-باری (Ancona - Bari) است، با طولی حدود 6200 متر که در زیر تپه برجسته ای (rilievo collinare) که راستو را در خود دارد جای گرفته است (پسکارا-Pescara). از نظر ژئولوژیک (شکل 8)، این برآمدگی در بخش پائینی و میانی خود از کمپلکسی از زمینها که بصورت غالب از لیمو-رس (limo -argillosa) ساخته شده، و به رنگ خاکستری و دارای قشر بندی است، با تداخل های نازک شنی و در بخش فوقانی از یک قشر ضخیم کنگلو مرآت، که کم و بیش سمبئیزه شده (cementato) و در بالای آن افقی از زمینهای شنی- لیموز برنگ قهوه ای زردین قرار گرفته، تشکیل شده است. این تونل، بااستثنای بخشهای آغازین نزدیک دهانه ها، بصورت کامل در زمینی از فرماسیون رسی پایه شکافته شده است. در عمق ناحیه ی حفاری، زمین ها شباه از آب اند و قویا نسبت به تغییرات حساس میباشند.

## 2.3.1.1 خلاصه ای از مرحله حفاری

کار حفاری، که در سال 1984 از دهانه شمال آغاز شد، تا آپریل 1990 طول کشید که با ناپایداری ها (dissesti) ی مداوم و جدی همراه بود. پروژه اصلی حفاری را از طریق نیمه ستسیون (mezza sezione) پیش بینی کرده بود و به مجرد حفاری پوشش اولیه که شامل مونتاژ آرک های فولادین، بتون پاشی و تور التروسالدا تو (rete elettrosaldato) بود حمایت میشد. پوشش نهائی بتون آرمه (calcestruzzo armato) با ضخامت یک متر، در نزدیکی تنگاتنگ سینه کار، همیشه با حضور هسته، اجراء میشد. دیواره های بقلی (piedritti) تونل، در مرحله بعدی ریخته میشدند و ریختن آرک معکوس (arco rovescio) کار را تکمیل مینمود.

بعد از پیدایش اولین ناپایداریهای مهم، سعی شد تا به پیشروی از طریق تنظیم راه حلهای مختلف ادامه داده شود، که در عمل عدم کارائی خود را نشان دادند، تا اینکه حادثه ی ریزشی شدیدی در کیلومتر 38 + 075، با روباره ای بارتفاع حدود 38 متر، پدید آمد که سینه ی کار (عکس 2)، و طولی حدود 40 متر از تونل حفاری شده را در بر گرفت و بر روی پوشش نهائی تغییر شکل هائی (دفرماسیون) با بعد بزرگ (بیش از یک متر) تولید کرد، بگونه ای که پیشروی در حفاری کاری غیر ممکن گردید.

از نویسنده مقاله خواسته شد تا راه حلی پیشنهاد کند تا اینکه بتوان کار حفاری تونل مورد بحث را از سر گرفت و بقیه تونل را نیز تکمیل کرد. در اینجا اینجانب برای مقابله با مشکل موجود، برای بقیه تونل متدی نو برای پیشروی در حفاری ارائه داد، که پرنسیپ های آن بر پایه رژیم بندی (رژیماسیون) پدیده های دفرماتیو از طریق تقویت هسته در سینه کار، یعنی بر روی تولید اعمال ماقبل حفاظتی ناحیه مورد حفاری قرار گرفته بود.

## 2.3.1.2 - مرحله شناختی تونل و آستو (vasto)

قبل از آغاز پروژه جدید، شناخت دقیق تری از ویژگیهای ژئوتکنیک زمینهای مورد حفاری، ضروری شناخته شد. این زمینها، که متعلق به سازند (فرماسیون) رسی پایه است، در واقع همانند لیم های-رسی و یا رسهای-لیموزی که دارای خصوصیات قویا پلاستیک و امپرمآبل (impermeabile) بوده و در عین حال در اثر جذب آب قابلیت افزایش حجم و باد کردن دارد، کلاسه بندی شده بود. آزمایشهای برش مستقیم (taglio diretto) و در سلول سه بعدی (cella triassiale) با وجود اینکه اندازه هائی متفاوت از کوئزیون (coesione) و زاویه اصطکاک را ارائه میدهند، در هر صورت، اندازه مقاومت را، بصورت متوسط، بسیار پائین نشان میدهند.

از طریق آزمایش "برآمدگی یا استروزیون در سلول سه بعدی" پیشروی حفاری تونل در شرایط تنشی واقعی زمین در سیتو (situ) در آزمایشگاه مدل بندی گردید. این آزمایش ها، در ترکیب با مدل های ریاضی عنصرهای با نهایت (elementi finiti) امکان دادند تا پارامترهای ژئومکانیک (C, Ø, E) را، که برای بکار گیری در مراحل بعدی شناخت (diagnosi) و معالجه (terapia) قابل بهره گیری است تنظیم (tarare) کنند. بویژه، از طریق شبیه سازی (simulazione) مستقیم آزمایشهای برآمدگی یا استروزیون در سلولهای سه بعدی موجود (همراه با آزمایشهای سه بعدی شکست-rottura چه تحکیم شده و چه تحکیم نشده) در مورد میدان تغییرات پارامترهای ژئوتکنیک به نتایج زیرین رسیدیم:

$c_u$  = کوئزیون درن نشده (coesione non drenata)  $0.4 \div 0.15$  مگا پاسکال  $1.5 \div 4$  کیلوگرم/سانتیمتر مربع)  
 $c'$  = کوئزیون درن شده (coesione drenata) :  $0:0.2$  مگا پاسکال  $2:0$  کیلوگرم/سانتی متر مربع)  
 $\phi_u$  = زاویه اصطکاک درن نشده (angolo d'attrito non drenato)  $0:10$  درجه  
 $\phi'$  = زاویه اصطکاک درن شده (angolo d'attrito drenato)  $18:24$  درجه  
 $E$  = مدول الاستیک یانگ (modulo elastico di young)  $500 \div 50$  مگا پاسکال  $500 \div 500$  کیلوگرم/ سانتی متر مربع).

### 2.3.1.3- مرحله دیانوز (diagnosi) تونل و آستو (vasto)

بر مبنای شناخت ژئولوژیک، ژئوتکنیک، ژئومکانیک و نیدروژئولوژیک که از متد های تئوریک و تجربی تحقیقات در سیتو (in situ) و در آزمایشگاه بر روی توده های سنگ تونل حفاری شده انجام شد، پیش بینی هایی در باره رفتار تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) سینه کار و ناحیه مورد حفاری، بدون حضور دخالت های پایدار کننده، که هدف آن تقسیم بندی مسیر حفاری به قطعاتی با رفتار تغییر شکل یابی همگون، در چارچوب سه شرایط اصلی و ممکن تنسو-دفرماتیو بود، انجام شد.

مطالعه دیانوز از طریق تحلیل مکانیزم های شکست (rottura) و سینماتیسم ناپایداری (cinematismi d'instabilità) که در واقع بدنبال تحول پدیده های دفرماتیو تولید شده اند انجام میگردد، و بعد از آن وسعت ناحیه ناپایدار و هویت بارهای بسیج شده (carichi mobilitati) است که باید ارزیابی گردد، که در حوصله بررسی موجود نیست.

### 2.3.1.4- ارزیابی رفتار تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو)

ارزیابی رفتار تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) در مسرتونل از دو طریق انجام گردید (شکل 28) که این دو طریق چه برای تنش های کم و چه برای تنشهای متوسط و بالا قابل بهره گیری اند: اولین طریق که نتیجه گیری از آن بسرعت قابل دستیابی است بر اساس تئوری خطوط کاراکتریستیک (linee caratteristiche) گذارده شده است (که بر حسب شرایط با متدهای تحلیلی و یا از طریق عددی محاسبه میشوند)، و یا روش بعدی که طولانی (laborioso) است، مبتنی بر آزمایش برآمدگی (prove di estrusione) در سلول سه بعدی است، که در پاراکراف مرحله شناختی (fase conoscitiva) بدان اشاره شد.

در مورد تونل و آستو "vasto" هر دو طریق متد تحلیلی، صرف نظر از ناحیه های نزدیک به دهانه ها، رفتاری با "سینه کار ناپایدار-comportamento a fronte instabile" از خود نشان دادند و حرکتهای مهم برآمدگی (estrusivo) و بدنبال آن حتی ماقبل همگرایی و همگرایی (بیش از 100 سانتی متر رادیال) را از خود نشان دادند. در واقع مقیاس این پدیده ها باندازه ایست که میتواند نشانه های خطرناکی از ناپایداری، همانند ریزش سینه کار و در نتیجه سقوط ناحیه حفاری را بدنبال داشته باشد.

## 2.3.1.5 مرحله ترایی تونل و آستو (vasto)

بر اساس پیش بینی های انجام شده در مرحله دیانوز، بایستی تیپ عمل (ماقبل حفاظتی و یا حفاظت ساده -precontenimento o semplice contenimento) و دخالت های لازم، در قالب کاته گوری رفتاری پیش بینی شده، برای بدست آوردن ثبات کامل تونل، انتخاب میشود.

در مورد آن بخشی از تونل که هنوز باید مورد حفاری قرار میگیرد (همچنین شامل دهانه جنوب در ناحیه ریزش)، با در نظر گیری ویژگی های زمین مورد حفاری و نتایج مطالعه دیانوستیک، که نشان دهنده رفتاری با سینه کار ناپایدار در تمامی مسیر زیر زمینی بود (تنش هائی در عرصه شکست -rottura، عدم تشکیل پدیده آرك، نشانه هائی از ناپایداری های ویژه و تپیک همانند ریزش سینه کار و سقوط ناحیه مورد حفاری) ما را به انتخاب روشی برای پایدار کردن تونل سوق میداد که با اعمال ماقبل حفاظتی (precontenimento) ناحیه مورد حفاری، با دخالت هائی قاطع در آغاز سینه ی کار حفاری به هدف تضمین تشکیل پدیده آرك مصنوعی، از قبل، بر روی سینه کار همراه بود.

بویژه، تصمیم گرفته شد تا پیشروی حفاری از طریق ستسیون کامل (piena sezione) انجام شود با بکارگیری دخالت های حفاظتی ترکیبی، که باعث ایجاد عمل ما قبل حفاظتی، چه بر اطراف هسته و چه بصورت مستقیم بر روی هسته میگردد. در واقع سه نوع دخالت "ستسیون تیپ" تهیه شد (شکل 9)، که می توان آنها را بصورت آترناتیو بسته به درجه همگونی (هموژن) و مقاومت زمین مورد حفاری در طی پیشروی بکار گرفت.

تفاوت این سه آترناتیوتنها در نوع دخالت های است (ما قبل پایداری و یا پره کنسولیدامنتو-ماقبل حفاظتی و یا پره کننتی منتو) که باید در مرحله پیشروی در اطراف محل حفاری انجام شود، در حالی که در هر سه "ستسیون تیپ" دخالت ما قبل پایداری هسته پیشروی دخالتی مشترک است.

انتخاب نوع این دخالت، در اطراف محل حفاری، کاملاً به طبیعت و مقاومتی که زمین مورد حفاری بدست آورده است بستگی دارد.

در زمین های دانه مانند (گرانولار -granulare) و یا با کوئزیون ضعیف، که دارای مقاومت برشی (resistenza al taglio) پائین هستند، بکار گیری سیستم جت-گراوتینگ (jet-grouting) افقی پیشنهاد شد.

در زمین های کوئزیو کمپات تو و هموژن (coesivi compatti e omogenei)، برعکس، تکنولوژی ای که بنظر مناسب می آید تا بتواند در طی پیشروی سیر "gusci" های مقاوم برای حمایت از هسته ایجاد کند، و در عین حال قادر به تضمین بسیج پدیده آرك "effetto arco" باشد، همانگونه که شهرت یافته است، عبارت از، تکنولوژی پره تالیوی مکانیک (pretaglio meccanico) میباشد.

در زمین های که مقاومت برشی و کوئزیون درن نشده (coesione non drenata) باندازه ای هستند که بتوان از بکارگیری این تکنولوژی صرف نظر کرد، میتوان با تزریق های کلوکاژ (claquage) در مسیر پیشروی از طریق لوله های فایبر گلاس (vetroresina) که برای این کار ساخته شده اند و به شکل خاصی جای گرفته اند، یک پوششی "fascia" تحکیم شده از زمین در اطراف محل حفاری و هسته ایجاد کرد.

در هر سه نوع دخالت "ستسیون تیپ"، به هدف تکمیل کار، یک دخالت حفاظتی در مرحله اول و در ناحیه حفاری شده که در قبل از سینه ی کار قرار دارد و مرکب از آرك های فولادین و بتون-پاشی (اسپریتز-بتون) است که با ریختن آرك معکوس بسته میشود، و بدنبال آن از یک پوشش مرحله دوم با استفاده از بتون (calcestruzzo) پیش بینی شده است.

بعد از انتخاب نوع دخالت با نقشه خاص خود "ستسیون های تیپ"، به تعیین ابعاد دخالت ماقبل تقویتی هسته ی پیشروی از طریق لوله های فایبر گلاس (وترورزینا)، که تعداد لوله های لازم، طول آنها و هندسه ی جایگزینی آن را در سینه ی کار پیش بینی میکند، پرداخته میشود.

در قیاس با متد (اپروچ) بکار گرفته شده در مرحله دیانوز (diagnosi)، برای پیش بینی رفتار ناحیه ی مورد حفاری، تعیین ابعاد و تعداد لوله های فایبر گلاس (وترورزینا) از طریق د و روش انجام گردید (شکل 10).

اولین روش، بر مبنای استفاده از متد خطوط کار اکتیستیک، با در نظر گیری تاثیر دخالت ماقبل پایداری هسته، بصورت ساده، در محاسبه خطوط کار اکتیستیک مربوطه، قرار گرفت.

دومین پروسه ی تعیین ابعاد دخالت ماقبل پایداري (preconsolidamento) هسته ، بر عکس، برپایه ی تفسیر منحنی بر آمدگی ای که از آزمایش سلول سه بعدی ( cella triassiale) بدست می آید، بنا شده است: بعد از تعیین فشار حفاظتی (pressione di contenimento) مینیمم  $P_i$ ، که برای استحکام بخشیدن سینه ی کار ضرورت دارد (که به نام مرز فشار بین بازوی "الاستیک" و "الاستو پلاستیک" منحنی برآمدگی و یا استروزیون تعریف شده است)، بر روی دیاگرام تجربی، همانند دیاگرامی مدلی که در شکل دیده میشود، تعداد لوله های لازمی که باید بکار گرفته شود، تا بتواند فاکتور ایمنی و پایداري سینه ی کار حفاری را تضمین کند، ارزیابی میگردد.

هر دو متد (اپروچ)، چه آزمایش برآمدگی (استروزیون) و چه خطوط کاراکتریستیک، نتایجی را در اختیار قرار دادند که قابل قیاس بودن این دو متد را تائید کردند، و این در واقع نشانگر تشابهی است که آنان را از نظر مفهومی بهم پیوند میزند.

## 2.3.1.6 مرحله عملی (اوپراتیو) در تونل و آستو (vasto)

در سال 1992، کار حفاری، تقریباً بصورت همزمان بر روی هر دو دهانه ی تونل از سر گرفته شد: در دهانه شمال، احیای قطعه ای از تونل که دچار ریزش شده بود، و در دهانه جنوب، که با آغاز حفاری تونل طبیعی همراه بود. تولید متوسط، با 7 روز کار در هفته، حدود 50 متر پیشروی در تونل تکمیل یافته بود (عکس شماره 3).

در شکل 11 دیاگرام های تولید متوسط ماهانه را با اندازه های پدیده همگرایی آن دوره مقایسه کرده ایم. اینکه گرایش خالص اندازه های پدیده همگرایی تناسبی معکوس با تولید متوسط ماهانه دارد دارای اهمیت ویژه ایست، و تائید کننده اینست که هر چه کمتر به هسته فرصت دفرمه شدن (دفرماسیون) داده شود بیشتر زایش (innesco) پدیده های برآمدگی (استروزیون) و ما قبل همائی (preconvergenza) محدود میشوند و پدیده همگرایی که متعاقباً بوجود می آید به آنها بستگی داشته و پدیده ایست محدود تر.

## 2.3.1.7 - مرحله کنترل تونل و آستو (Vasto) در هنگام حفاری (in corso verifica d'opera)

همزمان با از سرگیری حفاری تونل، مرحله کنترل که در واقع جواب دفرمه شدن زمین مورد نظر را در اثر حفاری پیش بینی میکند، نیز آغاز شد، که هدفش بهینه سازی (ottimizzazione) مناسب و تنظیم (taratura) دخالت های پایدار کننده در تونل بود.

علاوه بر اندازه گیری همگرایی (convergenza) و فشار (pressione) که بصورت معمول انجام میشود، در تونل "و آستو" بصورت همزمان و سیستماتیک، برآمدگی (استروزیون) و همگرایی نیز اندازه گیری میشود، که بعلاوه نتایجی که تا بدست داده، در واقع پدیده نوین و قابل توجهی است.

نتایج این اندازه گیری ها بصورت خلاصه در دیاگرام های شکل 12 نشان داده شده اند، که بطور همزمان تغییرات برآمدگی (استروزیون) ها و همگرایی ها را در داخل یک دوره کامل فعالیت های مختلف نشان میدهد.

از بررسی دیاگرام ها، نتیجه میشود که چگونه، بدنبال پیشروی سینه ی کار، با کاهش پیشرونده عمق هسته تحکیم شده از 15 متر آغازین تا به 5 متر پایانی (که در عین حال کاهش سر سخی متوسط هسته را نیز بدنبال دارد) دفرمه شدن خود هسته (برآمدگی یا استروزیون) و ناحیه حفاری شده ی قبل از سینه ی کار (همگرایی) گسترش میابد، و این تغییرات، بصورت پیشرونده، از رفتاری از تیپ الاستیک (elastico) به رفتاری از تیپ الاستو پلاستیک (elastoplastico)

مبدل میشود. منحنی های همگرایی، بویژه، از یک رفتار خاص شرایطی که بسرعت بسوی ثبات تحول می یابد (با اندازه ماکسیمم به مقیاس 10 سانتیمتر، که بدنبال حرکتیهای برآمدگی سینه کار کمتر از 2.5 سانتیمتر ایجاد میشود) تدریجاً روندی را دنبال میکنند که دیگر جلوگیری از کاهش پدیده های دفرمه شدن هر چه بیشتر مشکل میگردد. بعنوان مثال هنگامی که طول هسته تحکیم شده بسوی 5 متر کاهش می یابد، برآمدگی سینه کار به مقیاس 10 سانتیمتر شکل میگیرد، که باعث میشوند تا همگرایی ها، نسبت به آنچه که در آغاز دوره کار دیده میشود، به چهار برابر افزایش یابد.

اندازه گیری همزمان برآمدگی سینه کار و همگرایی ها در ناحیه حفاری شده، از این نقطه نظر، برای طراح (progettista) به یک عامل هشدار دهنده بسیار مهم تبدیل میشود، زیرا، از این طریق، او میتواند در لحظه لازم فعالیت های حفاری را متوقف کرده و مرحله ای تازه از تقویت (consolidamento) و احیاء طول حد اقل هسته تحکیم یافته را از سر گیرد، تا بدینگونه توده زمین را، اگر نه در عرصه الاستیک، اقلاً دور از عرصه شکستن (rottura) نگهداری کند.

## 2.3.2 - نتایج سومین مرحله تحقیق (ricerca)

(

مطالعه و تجربیاتی که در تونل و آستو انجام شدند، نه تنها، حضور یک پیوند تنگاتنگ بین پدیده های تغییر شکل یابی (دفرماتیو) که در داخل هسته پیشروی تونل (برآمدگی سینه کار) و پدیده هایی که بدنبال آن در اطراف ناحیه حفاری شده (همگرایی) شکل میگیرند، را روشن ساخت، بلکه از طرف دیگر (شکل 13، نتیجه سومین مرحله تحقیق)، نشان داد که پدیده های تغییر شکل یابی ناحیه حفاری شده، از طریق تنظیم مصنوعی تغییرات هسته پیشروی، یعنی تقویت سر سختی آن (جلو گیری از افزایش برآمدگی سینه کار) میتواند در تحت کنترل قرار گرفته و باندازه قابل توجه کاهش یابند.

این کار در صورتی امکان پذیر است که دخالت های مناسب پایدار کننده بر روی هسته پیشروی و بر روی ناحیه حفاری شده، بر اساس ویژگی های مقاومت و توان تغییر و دگرذیسی زمین در رابطه با شرایط تنشی موجود، بدرستی بعد بندی و تقسیم گردد.

با رجوع به این مسئله، در زمینی که فشار موجود در آن در عرصه ی الاستوپلاستیک (elastoplastica) است:

- اگر وضعیت تنشی (تنسیونال) در ارتباط با ویژگی های زمین، پائین باشد، شاید عمل کردن بر روی ناحیه حفاری شده از طریق دخالت های شعاعی (رادیال) کافی بوده و بدین طریق بتوان از هرگونه دخالت طولی بر روی هسته پیشروی جلو گیری کرد.
- اگر وضعیت تنشی بالا باشد لازم است، برعکس، بویژه بر روی هسته پیشروی عمل کرد و با تقویت آن از طریق دخالت های طولی از دخالت های رادیال بر روی مسیر حفاری صرف نظر نمود.
- در صورتی که زمین تحت فشاری در عرصه شکستن (rottura) باشد، سر سخت کردن هسته پیشروی، از طریق دخالت های ما قبل حفاظتی (precontenimento) ناحیه حفاری شده که می توانند با دخالت های حفاظتی (contenimento) در بخش حفاری شده تونل همراه باشد، به یک وظیفه حتمی بدل میشود. در این مورد تجربیات (آنچه در قبل نوشته شد نیز دارای مفهوم خاصی است) پیشنهاد می کنند که:
- در طی حفاری بر روی شکل و حجم هسته، از طریق ایجاد یک سپر حفاظتی (coronella protettiva) زمین تحکیم شده حول آن، عمل شود. بویژه در طی حفاری تونل و آستو دیده شد که این روش کار در قطعات بسیار مشکل دارای کارایی خاصی است. اگر این کافی نباشد لازم است که:
- دخالت های دیگری بشکل شعاعی (رادیال) برای تحکیم اطراف ناحیه حفاری شده انجام گردد، دخالتی که برای جذب همگرایی باقیمانده (convergenze residue) هسته که اگر چه تحکیم شده اما به تنهایی قادر به جلوگیری از آن نیست، بعد بندی و انجام شود.
- در مورد اخیر توازن (بالانس) دخالت ها در بین هسته و محل حفاری شده، که در مرحله پروژه تعیین گشته، میتواند در در طی حفاری تونل کاملاً روشن شود.

## 2.4- هسته پیشروی همانند ابزار یابدار کننده (stabilizzazione)

- نتایج ناشی از تحقیق. بصورت چکیده. بصورت زیرین خلاصه میشوند:
- در "اولین مرحله تحقیق" سه شکل اصلی تغییر شکل یابی یا دفرماسیون (برآمدگی و یا استروزیون سینه کار، ماقبل همگرایی، و همگرایی) و نشانه هائی از ناپایداری هائی متعاقب آنها (جدا شدن هائی ناشی از پدیده ثقلی، اسپلاکاز، ریزش سینه کار، سقوط ناحیه حفاری)
  - در "دومین مرحله تحقیق" این تائید تجربی بدست آمد که تمام پدیده هائی تغییر شکل یابی (برآمدگی سینه کار، ماقبل همگرایی و همگرایی) و نشانه هائی ناپایداری قابل مشاهده در داخل محل حفاری و متعاقب حفاری (جدا شدن هائی ثقلی، اسپلاکاز، ریزش سینه کار، سقوط ناحیه مورد حفاری) مستقیم و یا غیر مستقیم، به سرسختی هسته پیشروی وابستگی دارند.
  - در "سومین مرحله تحقیق" این تجربه شد که چگونه ممکن است، از هسته ی سینه کار همانند ابزار یابدار کننده، با دخالت مصنوعی بر روی سرسختی خود هسته، بهره گرفت، تا اینکه بتوان پدیده هائی دگردیسی ناحیه حفاری شده را تحت کنترل گرفت و یا رژیم بندی کرد. علاوه بر آن، نتایج بدست آمده از تحقیق:
  - تائید میکنند که جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) زمین در مقابل عمل حفاری باید محور اصلی کار طراح (progettista) تونل باشد، زیرا آن آغاز (l'innescimento) پدیده ها و جایگاه تاثیر آرك نسبت به پروفیل حفاری و یا شرایط یابداری (stabilità) که تونل بدان دست یافته است را نشان میدهد؛
  - روشن می کنند که جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) در آغاز سینه کار، و در رابطه با هسته پیشروی تولد میابد و در طی مسیر حفاری شده قبل از سینه کار، که تنها بشکل همگرایی نیست بلکه ترکیبی است از برآمدگی (estrusione)، ماقبل همگرایی (preconvergenza) و همگرایی (convergenza)، تحول میابد. پدیده همگرایی تنها آخرین مرحله یک پروسه ی تنش-تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) بسیار پیچیده ایست؛
  - بروشنی، وجود یک پیوند مستقیم را بین جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) سیستم سینه کار-هسته پیشروی و ناحیه حفاری شده ماقبل سینه کار بنمایش میگذارد، باین مفهوم که این پدیده آخری (دفرمه شدن ناحیه حفاری) نتیجه مستقیم پدیده اولی است، و در عین حال بر روی اهمیت تحت کنترل گرفتن رفتار تغییر شکل یابی (دفرماتیو) سیستم سینه کار-هسته پیشروی، و اینکه نباید تنها به کنترل ناحیه حفاری شده قبل از سینه کار بسنده کرد را تاکید میکند.
  - نشان میدهند که با تقویت سرسختی هسته پیشروی، از طریق دخالت هائی حفاظتی (protettivo) و تقویتی (rinforzo) ممکن است تغییر شکل یابی آن را (برآمدگی سینه کار، ماقبل همگرایی) را تحت کنترل قرار داده و در نتیجه جواب تغییر شکل یابی محل حفاری شده (convergenza) را نیز کنترل کرد.
- نتایج تحقیق، نهایتاً، با اجازه میدهند تا به هسته پیشروی همانند یک ابزار نوین یابدار کننده ی محل حفاری چه در کوتاه مدت و چه در دراز مدت بنگریم: ابزاری که مقاومت و تغییر شکل یابی آن نقشی تعیین کننده ایفا میکند، زیرا قادر است جنبه ای که بیش از حد باید طراح (پروژه تیست) تونل بدان حساس باشد را مشروط کند یعنی: رفتار زمین محل حفاری در هنگام رسیدن سینه ی کار بدان نقطه.

## 3- هسته پیشروی همانند معباری برای نرمالیزه کردن تونل

اگر هسته پیشروی یک ابزار موثر در یابدار کردن تونل چه در کوتاه و چه در بلند مدت است، و قادر میباشد رفتار ناحیه مورد حفاری را در هنگام رسیدن سینه کار مشروط کند، میتوان تائید کرد که طراح تونل، برای اینکه بتواند با پروژه هائی مناسب یابداری اثر را در کوتاه و دراز مدت تضمین کند،



باید تمام توجه خود را صرف پدیده های تنشی-دگرديسي (تنسو-دفرماتيو) سیستم سینه کار-هسته پیشروي، و یا بر روی شرایط پایداری تونل متمرکز کند.

نتیجه میشود که رفتار سیستم سینه کار حفاری- هسته پیشروي را می توان همانند معیاری (riferimento) برای نرمالیزه کردن تونل در نظر گرفت، با این و آنتاژ که این پارامتری است که ارزش خود را در تمامی تیپ های زمین و در تمامی شرایط استاتیک حفظ میکند.

از این نقطه نظر، سه شرایط اصلی تنشی-دگرديسي (تنسو-دفرماتيو) سیستم سینه کار حفاری- هسته پیشروي، که در پاراگراف I تشریح شد (مقایسه کنید همچنین شکل 13) در واقع نشانگر سه تیپ ممکن رفتار دگرديسي محل حفاری می باشند (شکل 14):

- رفتاری با سینه کار پایدار (کاته گوری رفتار A)
- رفتاری با سینه کار پایدار در کوتاه مدت (کاته گوری رفتار B)
- رفتاری با سینه کار نا پایدار (کاته گوری رفتار C).

در شرایطی با سینه کار پایدار، پایداری همه گیر (گلوبال) تونل، حتی بدون حضور دخالت های پایدار کننده، عملاً تضمین شده است. در شرایط B و C نتایج تحقیق نشان میدهند که برای جلوگیری از پدیده های ناپایداری سینه کار و در نتیجه ناپایداری ناحیه حفاری و برای دسترسی به شرایطی با سینه کار پایدار (A)، دخالت های ماقبل حفاظتی (precontenimento) که بصورت متناسب بین سینه کار و محل حفاری شده بالانس شده و در عین حال شدت آن وابسته به شرایط تنشی (تنسیونال) است که مشروط به مقاومت و قابلیت تغییر یابی زمین (mezzo) است، ضرورت دارد.

بکار گیری این مفاهیم در پروژه و ساختن تونل به نویسنده اجازه داد تا موفقیت های بزرگی را جمع آوری کند. در شکل 15 دیاگرام های تولیدی بدست آمده در طی پروژه و ساختن تونل در طی ده سال اخیر در ایتالیا و فرانسه، که در شرایط مختلف ژئولوژیک و در وضعیت های تنشی مختلف حفاری شده اند، نشان داده شده است [2].

در اینجا نه تنها پیشروي در رابطه با تیپ زمین مورد حفاری دارای سرعت متوسط لائنی است، بلکه بویژه خطی بودن تولید ها (linearità della produzione) نشانگر ساختن تونل از تیپ صنعتی آنست که با ریتمی منظم و بدون توقف انجام شده است.

در این هنگام لازم و فوری بنظر رسید که نتایج فوق الادیه بدست آمده را تا ماوراء نتایج آن پیش برد و متد و اپروچی برای پروژه و ساختن تونل، مناسب با واقعیت موجود، نسبت بدان که معمولاً مورد استفاده بود، فرموله کرد.

برای رسیدن بدین هدف بر روی مسیری که قبلاً از طریق تحقیق تعیین شده بود و در تکمیل آن لازم شد تا برنامه مطالعاتی دیگری پیاده شود، چه از نظر تجربی چه از نظر تئوریک، که در طی آن رفتار تنشی-دگرديسي (تنسو-دفرماتيو) هسته پیشروي با پیوند سیستماتیک با محل حفاری، بر اساس پایداری و دفرماسیون چه در عدم وجه با حضور دخالت های حفاظتی و تقویتی مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفت.

در فضاي این مطالعات متد ADECO-RS، معادل نام آنالیز دفرماسیون های کنترل شده سنگها و خاک ها (شکل 16) پدید آمد که در آن با مشاهده میکنیم:

- که پدیده هایی که حفاری یک تونل را همراهی میکنند میتوانند همچون یک روند علت معلول (عمل-عکس العمل) در نظر گرفته شوند؛
- که معمولاً در این تیپ پروسه ها، برای اینکه قادر باشیم تا بصورت موثر معلول (effetto) را تحت کنترل قرار دهیم، لازم است، قبل از هر چیز، علت (causa) را کاملاً تشخیص دهیم.
- که تشخیص کامل علت (causa) نیز ممکن نیست مگر از طریق آنالیز عمیق معلول (effetto)؛

توجه بر روی آخرین پدیده (جواب تغییر شکل توده زمین) چه بر سینه کار وجه در ناحیه حفاری شده و تحلیل آن، از ابتداء، تحول آن از طریق یک تجربه در اشلی (scala) بزرگ و کوچک و با ابزار محاسبه عددی (calcolo numerico) بر روی رفتار هسته پیشروي، ما را بدین نتیجه میرساند که علت دفرمه شدن زمین را باید در آغاز سینه کار جستجو کرد.

بعد با کنترل، با بهره گیری از ابزار مناسب پایداری (stabilizzazione)، تغییر شکل یابی زمین در سینه کار (هسته پیشروی)، ما را بدین نتیجه می‌رساند که ممکن است بدینترق جواب دفرماتیو توده زمین را نیز زیر کنترل گرفت، که این در واقع تائیدی است حتمی بر اینکه هسته پیشروی علت اصلی روند پروسه بررسی است.

## 4- تحلیل جواب دفرماتیو بر پایه متد "ا.د.کو.ار.اس-A.DE.CO-RS"

رفتار تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) هسته پیشروی، در رابطه سیستماتیک با رفتار محل حفاری، از نقطه نظر پایداری و دگرذیسی، چه با حضور چه با عدم حضور دخالت‌های حمایتی و تقویتی، از طریق یک سری کنترل و اندازه‌گیری‌های تجربی، چه در زمین (situ) چه در لابراتوار، مورد مطالعه قرار گرفت.

### 4.1- تجربه در مقیاس واقعی (scala reale)

رفتار هسته پیشروی از نقطه نظر پایداری (stabilità)، مبتنی بر متد مشاهدتی (osservazionale)، انجام شد. این متد امکان داد تا بیش از هزار سینه کار حفاری کلاسه بندی شود و اطلاعات مهم بدست آمده از آن در نمودارهای مناسب خلاصه شود.

از نقطه نظر تغییر شکل (دفرماسیون)، برعکس، هسته پیشروی با بکارگیری سیستماتیک اندازه‌گیری‌های زیرین مورد مطالعه قرار گرفت (شکل 17):

- اندازه‌گیری برآمدگی سینه کار (استروزیون)، از طریق بکارگیری استروزمتر افقی (sliding micrometer) که در داخل هسته پیشروی نصب می‌شود و دارای طولی است به اندازه 2-3 برابر قطر تونل. این ابزار، به مفهوم مطلق، دفرماسیون طولی ای که زمین تشکیل دهنده هسته پیشروی تحمل کرده است، چه در طی زمان (مرحله استاتیک، با سینه کار ایستا)، چه در طی پیشروی (مرحله دینامیک، با سینه کار پویا)، نشان می‌دهد (شکل 18)؛
- اندازه‌گیری‌های (rilievo) توپوگرافیک جایجائی‌های مطلق سینه کار، از طریق هدف‌های چشمی (mire ottiche)، که در هنگام توقف حفاری تونل بکار گرفته می‌شود؛

- اندازه‌گیری ما قبل همگرایی (preconvergenza)، که از سطح زمین آغاز شده، البته هنگامی که مرفولوژی زمین و ضخامت روباره با اجازه می‌دهد، از طریق ابزاری بنام استنسی متر چند پایه ای (estensimetri multibase)، که بصورت عمودی در زمین قبل از گذار سینه کار (در طول هسته پیشروی)، در ناحیه‌های کلید (chiave) و پهلوه‌های (reni) تونل که در حال حفاری است، کار گذاشته شده، انجام می‌شود [3].

این نوع اندازه‌گیری‌ها، طبیعتاً، همیشه با تیپ‌های سنتی، همانند: اندازه‌گیری همگرایی و اندازه‌گیری تنش پوشش‌ها (rivestimento) همراه می‌بودند. تجربه‌های انجام شده در مقیاس و یا اشل واقعی (scala reale) امکان دادند:

- تا بتوان، از طریق ساختن دیاگرام‌های ویژه‌ی برآمدگی سینه کار-همگرایی (شکل 19)، وجود، یک رابطه تنگاتنگ بین اندازه برآمدگی ای که هسته پیشروی متحمل شده، از طرفی، و هویت همگرایی‌هایی که بعد از گذار سینه کار خود را نشان می‌دهند، از طرف دیگر، و چگونگی تقلیل این اندازه‌ها را با افزایش سرسختی خود هسته، تائید کرد؛
- تعیین اینکه هسته پیشروی، بر روی دیواره سینه کار، از طریق سه تیپولوژی اصلی تغییر شکل (دفرماتیو)، دچار برآمدگی می‌شود. این سه تیپولوژی که بصورت سیلندریک (cilindrico)، یا سپرکروی (calotta sferica)، و یا ترکیبی از هر دو، بستگی دارد به تیپ زمین و وضعیت تنشی‌ی که در آن موجود است؛

□ که، از راه محاسبه های ساده حجمی که بوسیله آباکها (abachi)، که بسادگی قابل استفاده اند، پدیده ما قبل همگرایی، حتی هنگامی که اندازه گیری آن بصورت مستقیم از سطح زمین امکان پذیر نیست، در مفهومی مطلق، ارزیابی شود (شکل 20)؛

□ به اثبات اینکه چگونه، با افزایش اهمیت عمل ما قبل حمایتی (precontenimento) محل حفاری (cavo) و بدنبال آن کم شدن حلقه (fascia) زمینی که در اطراف تونل پلاستیچیزه شده، باعث میشود تا فشار وارده بر روی پوشش مرحله اول و پوشش نهایی بصورت متناسب تقلیل یابد.

## 4.2- تجربه در مقیاسی (اشل) کوچک تر

از آنجائی که آزمایشهای برآمدگی سینه کار (استروزیون)، که از طرف برا مز و بنه مارک (Brams و Bennermark) در 1967 انجام شده و از قبل شناخته بوده اند، این پدیده را تنها به مفهوم حد تنشی آغاز پدیده تغییرات (soglia tensionale d'inesco) مورد مطالعه قرار میدادند، برای اینکه بتوان این پدیده را همچنین به مفهوم تحولات تغییر شکل (دفرماتیو) مورد تحلیل قرار داد، دو آزمایش تازه بر مبنای مفهوم نوین بکار گرفته شد (شکل 20) :

□ آزمایش برآمدگی (استروزیون) در سلول سه محوری (triassiali)؛

□ آزمایش برآمدگی (استروزیون) در گریز از مرکز (centrifuga).

### در آزمایش برآمدگی سینه کار (استروزیون) در سلول سه محوری، نمونه

زمین در داخل یک سلول وارد میشود و وضعیت تنشی (تَنسیون اصلی  $tensione$   $\sigma$  originaria) توده زمین بصورت مصنوعی در آن ایجاد میگردد. از طریق فشار یک فلوئید، دو باره، تنش  $\sigma$  همچنین در داخل حجمی مشخص از استوانه (سیلندر) ایجاد میشود، که بنام اطاق برآمدگی و یا استروزیون شناخته شده که قبل از آزمایش در داخل نمونه (campione) و هم محور با آن بدست آمده، که شرایط تونل را در ناحیه سینه کار شبیه سازی (سیمولاسیون) میکند.

اگر وضعیت تنشی را در اطراف نمونه مورد آزمایش (campione) ثابت نگهداریم و درعین حال بصورت پیشرونده فشار  $P_i$  فلوئید را در داخل اطاق برآمدگی سینه کار (camera d'estrusione) کاهش دهیم، در واقع توانسته ایم، بصورت واقعی، کاهش تدریجی تنش را در داخل زمین، در رابطه با یک برش یا ستسیون (sezione) ویژه، با نزدیک شدن سینه کار حفاری، شبیه سازی کنیم و با ارزیابی ای از هویت برآمدگی (استروزیون) خود سینه کار نسبت به زمان و با نسبت به کاهش فشار داخلی حفاظتی ( $P_i$  pressione interna di contenimento)، منحنی های مشابه ای، که نمونه آن در شکل 20 آورده شده، تهیه کنیم. این منحنی ها، که در مرحله پروژه، برای ارزیابی فشارمقابل حفاظتی (pressione di precontenimento del cavo) محل حفاری، فشاری که لازم است تا سر سختی هسته و در نتیجه کنترل ماقبل همگرایی خواسته شده تامین شود، بسرعت قابل استفاده اند. از تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایشهای متعدد برآمدگی سینه کار (استروزیون) که در سلول سه بعدی انجام شده میتوان نتایج زیرین را بدست آورد:

1. با در نظر گیری ابعاد کوچک نمونه (campione)، آزمایشهای نام برده بصورت عمده بر ماتریسی از توده زمین تکیه دارند، که باید بصورت غالب از رس (argilla) باشد؛
2. نا همگونی احتمالی زمین (همانند زمینی تشکیل شده از صفحات موازی و غیره). تنها هنگامی با این آزمایشها همخوانی دارند که ابعادشان نسبت به ابعاد نمونه (campione) قابل نظر باشد؛
3. هر چه بیشتر ویژگیهای توده زمین همگون باشند، بهمان نسبت نتایج آزمایشها (پرو) با مقیاس واقعی (scala reale) نزدیکی بیشتری دارند.

### آزمایش های برآمدگی سینه کار (استروزیون) در شرایط گریز از

مرکز (centrifuga) برای آن مواردی تنظیم و بکار برده شده است که نیروی ثقلی (gravità) بصورتی تعیین کننده بر روی پدیده برآمدگی سینه کار تأثیر

میگذارد. پیچیدگی این پروها و مخارج زیاد آن باعث میشود که این روشها بصورتی محدود و در مواردی ویژه بکار گرفته شوند. نمونه زمین، بعد از اینکه ابزار اندازه گیری قابلیت دفرمه شدن آن، همانند مارکاتور ها و ترازدوتور (*marcature e trasduttori*) ها و فشارهای داخلی (*pressioni interstiziali*) در آن نصب شدند، در قوطی ویژه ای با دیواره های شفاف قرار میگیرد. بعد از اینکه در آن فضای تونل حفر شد، در داخل آن لوله ای از فولاد (*acciaio*) قرار داده میشود که در اولین تقریب معرف پوشش اولیه (*prerivestimento*)، پوشش نهائی (*rivestimento (definitivo)*) و آرك معكوس (*arco rovescio*) است. سلولی که چنین بدست آمده است از طریق فلونیدی پر میشود که فشاری مناسب را ایجاد میکند. در حالت گریز از مرکز فشاری ژئو استاتیک طبیعی (*pressione geostatica naturale*) بازتولید میشود و هنگامی که بدین فشار دست یافت کاهش فشار در سلول (*cella*) نامبرده آغاز میگردد که در واقع نتایج عمل حفاری زمین در سینه کار را تشبیه سازی (سیمولاسیون) میکند.

نتایج بدست آمده (در شکل 20 ما شاهد نتایج بدست آمده در آزمایش بر آمدگی سینه کار در شرایط گریز از مرکز هستیم که بر روی یک نمونه ای از زمین که دوباره سازی شده انجام گرفته است) نشان میدهند که بر آمدگی سینه کار در گذرگاه تخلیه (*transitorio di scarico*) بزودی خود را نشان داده و با افزایش رهایی (*rilassamento*) هسته سرعتی رشد یابنده بخود میگیرد. در شکل، برای هر گام تخلیه، عنصر آنی (*istantanea*) و عنصر ویسکوز (*viscoso*) تغییرات بر آمدگی سینه کار بصورت مشخص نشان داده شده اند. به سادگی دیده میشود که عنصر ویسکوز (*viscoso*)، در پایان آزمایش، حدود 50% از کل بر آمدگی سینه کار را تشکیل میدهد.

تجربه در مقیاسی کوچکتر، از طریق باز تولید پدیده بر آمدگی هسته پیشروی در لابراتوار، همراه با نتایجی که از اندازه گیری ها در مقیاس واقعی بدست آمد، در تنظیم (تاراتور) صحیح پارامترهای ژئومکانیک مقاومت و تغییر شکل یابی (*C, Ø, E*) و مدل های عددی (*modelli numerici*) بکار گرفته شده، در بخش تئوریک نقشی اساسی داشته است.

## 4.3- تحلیل های عددی (Le analisi numeriche)

پیچیدگی مکانیزم هائی که در آغاز سینه کار در پروسه حفاری پدید می آیند، و مشکل اولیه در تعیین معیارهائی برای ارزیابی عینی از رفتار تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو- دفرماتیو) هسته پیشروی، این ضرورت را پدید آوردند که گذشته از حدس و داده های تجربی، از جنبه های مختلف پژوهش های انجام شده، باید تفسیری ارگانیک، واحد و منسجم داده شود، تا اینکه بتوان به تئوری ای همه گیر که بتواند محدودیتهای تئوری های جاری را از سر بگذراند، دست یافت.

برای رسیدن به این هدف، تحلیل جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) زمین بر مبنای تئوریک، با طی سه متد یا اپروچ (*approccio*) مختلف انجام شد:

- در آغاز، سعی شد تا بر مبنای تئوری های محاسبه ی تحلیلی (*calcolo analitico*) موجود عمل شود، البته با تطبیق احتمالی آن (*aggiornamento*) با دستاوردهای نو؛
- در نتیجه سعی بر این شد تا مسائل را از طریق بکارگیری مدل های عددی محور-قرینه ای و یا آسیال سیمتریک (*assialsimmetrici*)، عنصر های با نهایت یا محدود (*elementi finiti*) و یا با متد تفاوت های محدود (*differenze finite*) حل کرد؛
- در پایان، به مدل بندی عددی سه بعدی (*modellazione numerica tridimensionale*) پرداخته شد.

### 4.3.1- پژوهش هائی از طریق ایلروچ تحلیلی (approcci analitici)

در ابتدا سعی شد تا مسئله را از طریق تطبیق متد های محاسبات تحلیلی موجود با شرایط روز حل کرد. بویژه، سعی شد تا مفهوم هسته پیشروی و تحکیم هسته در بعضی از فرمولهای کلاسیک، که برای بعد بندی تونل بکار میرفت،

وارد گردد. . بعنوان مثال درمتد همگرایی-پایداری (Convergenza-Contenimento) [4] و همچنین در میتد خطوط کاراکتریستیک (Linee Caratteristiche) [5]، که این تنها متدی است که در آن مفهوم هسته بصورت روشن خود را نشان میدهد.

هر دو فرمولبندی شبیه سازی (simulazione) تاثیرات تقویت هسته و در عین حال رسیدن به چندین نتیجه گیری تجربی را ممکن ساختند، بویژه: کاهش متعاقب شعاع پلاستیسیزاسیون (Rp (raggio di plasticizzazione) و تغییر شکلها (دفورماسیون) در ناحیه سینه کار حفاری.

این دو متد، از آنجائیکه محاسبات شرایط تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) سینه کار را از محاسبات نقاط حفاری شده دور از سینه کار جدا میکنند، نمی توانند در فرمولبندی های صحیح تاثیرات آنچه را که در آغاز سینه کار اتفاق میافتد در ناحیه دور از سینه کار، یعنی در ناحیه حفاری شده، در نظر گیرند؛ در نتیجه قادر به تفسیر صحیح پدیده ها در کلیت خود نمیباشند [6].

این مسئله، بویژه، به کاهش شعاع پلاستیسیزاسیون Rp و در نتیجه کاهش دفرماسیون محل حفاری (همگرایی) و فشاری که بر روی پوشش اولیه و پوشش پایانی وارد میشود مربوط میگردد، پدیده هائی که در نتایج بدست آمده از طرف دو فرمولبندی تحلیلی (آنالیتیک) مورد بحث، جایی نداشته و برعکس بگونه ای سیستماتیک، از طریق اندازه گیری های تجربی مورد تأیید قرار میگیرند [6].

نتیجه این که، این اپروچ ها، با این که میتوانند در مرحله شناختی (دیانوز) برای تعیین رفتار مواد (ماتریال) حفاری، در هنگامی که دخالتهای ما قبل تحکیمی (interventi di precontenimento) محل حفاری وجود ندارند، مفید واقع شوند، نمی توانند، بر عکس، در مرحله تراپی (terapia) که با حضور این دخالتها همراه است، چنین نقشی را ایفاء کنند، زیرا نه اجازه میدهند که هویت پدیده های دفرماتیو ناحیه حفاری با دقت کافی پیش بینی شوند و نه امکان میدهند که بعد بندی (dimensionamento) دخالتهای پوششی در مرحله اول و در مرحله پایانی بصورتی صحیح انجام گردد.

در هر صورت تصمیم گرفته شد تا این دو نوع اپروچ کنار گذاشته شوند و مسیر مدلهای عددی (modelli numerici)، همانند عناصر بانهایت و تفاوتهای محدود (elementi finiti e differenze finite)، که اجازه میدهند تا مداوم تمامی تاریخ تنشی و دفرماتیو زمین اطراف تونل را از آغاز سینه کار تا پایان آن در نظر گرفت، طی گردد.

## 4.3.2 - پژوهش هائی از طریق اپروچ های عددی مبتنی بر مدل های محور قرینه ای (assialsimmetrici)

تاثیر تحکیم بخشی هسته پیشروی از طریق مدل های عددی عناصر بانهایت و تفاوت های با نهایت (elementi finiti e differenze finite) مورد پژوهش قرار گرفت. این کار با بهره گیری از مدل هائی از تیپ محور قرینه ای، که اداره آن نسبت به مدل های سه بعدی ساده تر بود، آغاز گردید.

با وجود اینکه، از این طریق، حل یک سری از محدودیتهای ناشی از متد های تحلیلی نامبرده ممکن نشد (شکل هندسی کاملاً مدور، شرایط و وضعیت تنشی همگون در اطراف تونل، عدم امکان بکارگیری پوششهایی متفاوت با حلقه ی بسته و در نتیجه شبیه سازی مراحل واقعی تونل سازی)، بکارگیری این مدل ها، در هر صورت، روشن کرد که چگونه، تقویت هسته پیشروی باعث میشود تا تنشهای موجود در آغاز سینه کار و در اطراف ناحیه حفاری شده، به شکلی متفاوت تقسیم گشته، و بدینگونه امکان دهد، تا سر انجام، از طریق محاسبات، کاهش که در وسعت حلقه ای زمین پلاستیسیز شده و تمامی پدیده های دفرماتیو اطراف ناحیه حفاری شده (نه تنها برآمدگی سینه کار و ماقبل همائی، بلکه همچنین پدیده همگرایی) بوجود می آید، تأیید کند.

علاوه بر این، تحلیل های مبتنی بر "مدل های عددی محورقرینه ای" نشان دادند که، کنترل پدیده های برآمدگی سینه کار و ماقبل همگرایی، اگر در تغییر سرسختی پوشش های تونل و یا فاصله این پوششها از سینه کار، محدود بماند، کار غیرممکنی است. به بیانی دیگر، این تحلیل ها نشان دادند که جریان دفورماسیونی که در آغاز سینه کار ایجاد شده، تنها با دخالتهای حفاظتی (azioni di solo contenimento)، غیر ممکن است.

هر چند مدل های عددی محور قرینه ای در شبیه سازی (سیمولاسیون) حفاری تونلها، در هنگامی که هسته پیشروی تحت دخالتهای پایدار کننده قرار گرفته، با نتایجی که از نقطه نظر تنشها (sollecitazioni) و دفورماسیون زمین بدست دادند، که با دستاوردهای تجربی همخوانی دارند، از خود توانایی کافی نشان دادند، اما همین توان را در پیش بینی فشارهای وارد شده بر روی پوشش آغازین و پوشش پایانی از خود نشان ندادند، و این مدل ها، کم و بیش با مدل‌هایی هموزنند که، با تساوی دیگر شرایط، عاری از دخالتهای پایدار کننده هسته میباشند.

این، همانگونه که در قبل گفتیم، با مشاهداتی که در پژوهش تجربی انجام شد، و بارها در فعالیتهای تونل سازی مورد تأیید قرار گرفت، در تضاد است، و ما را بدین نتیجه گیری سوق میدهد که با این نوع مدلها، در نظر گیری تأثیرات ثقلی ناشی از زمین پلاستیسیزه شده در اطراف محل حفاری و همچنین مراحل واقعی ساختن پوششهای آغازین و پایانی، غیر ممکن است.

### 4.3.3 - پژوهش هائی از طریق ابروچ های عددی (approcci numerici) بر روی مدل‌های سه بعدی

برای بر طرف کردن تضادهای موجود در مدل‌های عددی محور قرینه ای، لازم شد تا به مدل بندی عددی سه بعدی مراجعه شود. از این طریق، در واقع این امکان وجود دارد تا شکل هندسی واقعی ناحیه مورد حفاری در محاسبه وارد گردد، که دیگر بسادگی، همانند متد همگرایی- حفاظتی (Metodo Convergenza- Contenimento)، خطوط کاراکتریستیک (Linee Caratteristiche) و تحلیل های محور قرینه ای (عناصر با نهایت و یا تفاوتی با نهایت) مدور نیست. هم چنین میتوان حتی شرایط تنشی توده زمین را که دیگر از نوع ئیدرواستاتیک نیست و عاملی چون فشار ثقلی را نیز در نظر میگیرد، و علاوه بر آن میتوان تأثیری که مراحل مختلف تونل سازی بر روی استاتیک محل حفاری دارد نیز ارزیابی کرده، و بدین طریق شکل هندسی واقعی استراکتور پوششی، مراحل پیاده کردن آن در عمل و فاصله ای که آنها باید از سینه کار داشته باشند را نیز تعیین کرد.

در واقع از طریق محاسبه این امکان بوجود آمد تا، همانگونه که بعداً خواهیم دید، چگونگی تقسیم شدن حرکت‌های بر آمدگی بر روی سینه کار و مکانیسم هائی متعاقب آن همانند شکست (rottura)، همچون تابعی از فاصله پی ریزی آرک معکوس (arco rovesio) از سینه کار، مورد پژوهش قرار گیرد.

نتایج بدست آمده از طریق مدل‌های سه بعدی (D 3)، معمولاً، با مشاهدات تجربی همخوانی داشته و نشان میدهند که، در صورتی که هسته پیشروی مورد تقویت قرار گیرد، چه دفورماسیون‌ها (بر آمدگی سینه کار، ما قبل همگرایی و همگرایی)، و چه فشار (sollecitazione) هائی که بر روی پوشش محل حفاری وارد میگردند، دچار تقلیل میشوند.

### 4.3.4- نتایج تحلیل های تجربی و تئوریک جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو)

تحلیل تجربی و تئوریک جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) از طریق هسته پیشروی، که همچون سنگ محکی برای تفسیر پدیده های دفرماتیو در تونل در کوتاه و دراز مدت است، امکان داد تا با اطمینان، علت اصلی تمامی روند های تغییر شکل در کل خود (بر آمدگی سینه کار، ما قبل همائی، و همائی) را در مقاومت و تغییر شکل یابی هسته پیشروی، جستجو کرد و در واری هر گونه شک منطقی، تأیید نمود که، با کار کردن بر روی سر سختی خود هسته از راه دخالتهای حمایتی و تقویتی، می توان دفورماسیون (بر آمدگی سینه کار، ما قبل همگرایی) آن را کنترل کرد، و متعاقب آن همچنین جواب تغییر شکل یابی ناحیه حفاری (همگرایی) و هویت فشارهائی که که در دراز مدت بر روی پوشش تونل عمل میکنند را مورد کنترل قرار داد.

در نتیجه، اگر مقاومت و دگرديسي هسته ي پيشروي معرف علت اصلي جواب دفرماتيو توده مورد حفاري باشند، ميتوان به هسته پيشروي همانند يك ابزار جديد كنترل جواب دفرماتيو نگاه كرد: ابزاري كه مقاومت و دگرديسي آن نقشي تعيين كننده در پايداري کوتاه مدت و دراز مدت محل حفاري دارند.

## 5 - كنترل جواب دفرماتيو بر يايه ادكو-ار اس (L'ADECO-RS)

بر مبناي آنچه كه از تحقيق تجربی و عددي (numerico) در مورد جواب دفرماتيو توده زمین حاصل شد، علت اصلي كل روند تنشي-دگرديسي (تنسو-دفرماتيو: برآمدگی سینه کار، ماقبل همگرائی و همگرائی) كه در لحظه حفاري تونل پيدایش ميابد، بهر صورت، عبارت است از تغيير شكل يابي و يا دگرديسي هسته پيشروي. نتيجه ميشود كه براي حل هر شرايط تنشي-تغيير شكل يابي، و بويژه در شرايط پيچيده، قبل از هر چيز لازم است بر روي هسته با تقويت مناسب سرسختي آن عمل كرد. از نقطه نظر نيروها (forze) اين بدین مفهوم است كه لازم است تا با نه تنها عمل حفاظتي (contenimento)، بلکه با عمل ماقبل حفاظتي (precontenimento) محل حفاري نیز عمل كرد. عمل ماقبل حفاظتي هر عمل فعالی است كه باعث شكل گيري پديده آرك (l'effetto arco) در زمین در آغاز سینه کار حفاري گردد.

نتیجه میشود که برای کنترل کامل جواب دفرماتيو توده زمین باید موارد زیرین لزوما انجام شود (شكل 21):

1. در آغاز سینه کار، با تنظيم سر سختي هسته پيشروي با دخالتهای مناسب ماقبل حمايتي (precontenimento) محل حفاري؛
2. در پايان سینه کار، يعني در مسيري كه قبلا حفر شده، تنظيم شكل بر آمدگی سینه کار خود هسته از طريق دخالتهای حفاظتي (contenimento) محل حفاري، دخالتهای كه قادر است مقاومتی مداوم در نزديکی سینه کار ایجاد کند.

### 5.1- كنترل در آغاز سینه ي حفاری (كاوش)

براي تنظيم سرسختي هسته پيشروي و بدینگونه ایجاد مقدمه اي براي كنترل كامل جواب دفرماتيو توده زمین و در نتیجه، براي پايداري كامل تونل در کوتاه و دراز مدت، متد ادكو-ار اس (P.A.DE.CO.-RS)، همانگونه كه خواهيم دید، دخالتهای از تيبپ های مختلف پيشنهاد ميکند، كه در مقالات بسياري، بصورت كامل، توضيح داده شده اند، كه برخي از آنها را در بيبليوگرافي حاضر آورده شده اند [7].

تمامی این تيبپ های مختلف دخالت (interventi) ها ميتوانند تنها در دو گروه بندي خلاصه شوند (شكل 22):

□ دخالتهای حمايتي (intrventi protettivi)، هنگامی كه باعث كاناليزه شدن تنشها (tensioni) در خارج از هسته پيشروي ميشوند نقش يك عمل حمايتي را بازي کرده، و ضامن حفظ خصوصيات (كاراكتريستيك) طبيعي مقاومت و قابليت تغيير شكل يابي هسته ميگردند (مثال: حلقه اي از زمین استحکام يافته از طريق جت-گروتینگ (jet-grouting) شبه افقي (sub-orizzontale)، حلقه بتون تقويت شده با فيبرهای تقويتي (gusci di betoncino fibrorinforzato) و يا بتون (calcestruzzo) كه در هنگام پيشروي از طريق متد ماقبل برش مكانيك (pretaglio meccanico) ایجاد ميشود؛

□ دخالت‌های تقویتی (interventi di rinforzo) ، هنگامی است که مستقیماً بر روی استحکام هسته پیشروی، به‌دفع بهبود خصوصیات (کاراکتریستیک) طبیعی مقاومت و قابلیت تغییر شکل یابی (deformabilità) آن عمل می‌شود. این کار از طریق تکنیک‌های مناسب تقویتی (مثال: تقویت هسته از طریق عناصر استاکتوری فایبر گلاس (vetroresina) انجام می‌گیرد.

با وجود اینکه این نوع دخالت‌ها برای کنترل جواب دفرماتیو در آغاز سینه کار، در هنگامی که به تنهایی در نظر گرفته شوند، میدان کاربرد بسیار محدودی را در رابطه با طبیعت زمین از خود نشان می‌دهند، در کل خود قادرند راه حلهایی را برای شرایط مختلف ژئوتکنیک تضمین کنند. طبیعتاً، در شرایط ماوراء (estreme) تنش‌های تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو)، هیچ مانعی در بکارگیری دخالت‌های مختلف بصورت همزمان برای بدست آوردن یک سنتز ترکیبی وجود ندارد: سنتزی از دخالت‌های حمایتی و تقویتی (protettiva e di rinforzo) ، (شکل 23) .

## 5.2 - کنترل در پایان سینه کار یا در ناحیه حفاری شده

بر عکس آنچه معیارهای سنتی حفاری با میاموزند، که در واقع با نفعی علت پدیده‌های دفرماتیو در تونل، به هسته امکان داده می‌شود تا تغییر شکل یابد، و یا استفاده از پوشش‌های با انعطاف (flessibile) را برای جذب تغییر شکلی که از قبل ایجاد شده، راهی اجباری می‌داند (عملی که برای شرایط تنسو-دفرماتیو بخرنج، قاعدتاً، متناسب نیست)، بکارگیری مفاهیم جدید پیشروی حفاری با حضور هسته‌ای سرسخت، که ویژگی متد ادکو-آر اس (A.DE.CO.-RS) است، بر این نکته مصر است که اگر بخواهیم در پایان سینه کار برتری (و آنتاژ)ی را که در آغاز سینه کار، با تقویت هسته، بدست آورده ایم از دست ندهیم، باید پوششی مقاوم و سرسخت را ایجاد کنیم و باین نکته با کمال دقت توجه داشته باشیم که تداوم (continuità) عمل ما قبل حمایتی (precontenimento) به عمل حمایتی (contenimento) در ناحیه حفاری، باید تا حد امکان با متدی تدریجی و همگون، بدون فراموشی این که علت تمامی روند تنسو-دفرماتیو که خواهان کنترل آنیم مقاومت و قابلیت تغییر شکل یابی هسته پیشروی است، انجام گردد.

از طرفی دیگر، تحلیل‌های عددی (analisi numerici) انجام شده با بکارگیری کامپیوتر (elaboratore) ، بروشنی نشان می‌دهند که:

1. پدیده برآمدگی سینه کار (استروزیون)، در هنگام پیدایش، از طریق سطحی ایده آل به نام سطح برآمدگی سینه کار (superficie di estrusione) ، که از نقطه تماس بین زمین و نزدیک‌ترین نقطه پوشش مرحله اول تا نقطه اتصال بین زمین و نزدیک‌ترین نقطه آرك معکوس بسط می‌یابد، خود را نشان می‌دهد (شکل 24) ؛
2. هر چه بیشتر آرك معکوس (arco rovescio) در نزدیکی سینه کار ریخته شود، بیشتر باعث تقلیل سطح برآمدگی سینه کار (استروزیون)، و همچنین باعث کاهش پدیده‌های برآمدگی (که رشد آن نسبت به بلندی تونل حالت قرینه‌ای بیشتری دارد) و پدیده‌های همگرایی می‌گردد (شکل 25) .  
همین نتیجه‌گیری‌ها در عین حال نشان می‌دهند که:

□ در شرایط تساوی فاصله آرك معکوس از سینه کار، دفرماسیون‌های محاسبه شده برای حفاری بشکل نیمه ستسیون (a mezza sezione) و یا به بیانی دیگر نیمی از سینه کار و دفرماسیون‌های بدست آمده در حفاری سینه کار کامل و یا بشکل تمام ستسیون (a piena sezione) ، با یکدیگر قابل مقایسه اند (یعنی اینکه: ریختن آرك معکوس در فاصله‌ای دور از سینه کار همانند این است که حفاری در نیمی از سینه کار (Sezione parzializzata) انجام گردد؛  
□ پیشروی حفاری بشکل نیمی از سینه کار (a metà sezione) همیشه باعث تولید دفرماسیونی بیشتر از حفاری در سینه کار کامل می‌گردد.

برای طراح (progettista) این امکان بوجود می‌آید (که در شرایط ماوراء تنسو-دفرماتیو دارای اهمیت ویژه ایست) تا جواب تغییر شکل پذیر (



دفرماتیو) را، که از قبل در سینه کار آغاز شده، بصورت مداوم با تنظیم سر سختی هسته پیشروی، و تعیین شکل (maniera) بر آمدگی از راه ریختن دیواره (murette) و آرک معکوس در فاصله ای هر چه نزدیکتر به سینه کار، کنترل کند: پذیرش اینکه این دو عنصر ساختاری هر چه دور تر از سینه کار ریخته شوند، در واقع به این مفهوم است که ما سطح برآمدگی (استروزیون) وسیع تر، شمایل ناقصینه از برآمدگی سینه کار و هسته ای از حفاری با ابعادی بزرگتر و به سختی قابل کنترل، را پذیرفته ایم، اینها تمامی شرایطی هستند که نا پایداری تونل را بدنبال می آورند (شکل 26).

در این اینجا دیگر زمان، برای اینکه اصولی که از طرف ا.د.کو-اراس (I'A.DE.CO-RS) تئوریزه شده بود تا به صورت اپروچی تازه در پروژه و تونل سازی بدل شود، پخته مینمود؛ اپروچی که قادر باشد تا محدودیتهای متد های سنتی را از سر گذرانده و امکان دهد تا پروژه و ساختن تونل در هر تیپ از زمین و در هر شرایط تنسو- دفرماتیو ممکن گشته و بدینطریق عمل حفاری را به مرحله صنعتی شدن (industrializzazione) بکشاند، تا جایی که بتوان بصورت قابل توجه زمانها (tempi) و قیمتها (costi) ی تونل سازی را، همانگونه که، معمولاً، در مورد هر نوع اثر دیگر مهندسی بکار گرفته میشود، پیش بینی کرد. قبل از آغاز، تعیین خطوط راهنما (linee guida)، همانند مقیاس و معیار (riferimento)، برای کسی که قصد پروژه و ساختن یک اثر زیر زمینی را دارد، ضروری بنظر آمد.

## 6- پیشنهاد متد (اپروچ) نوین

بنظر ما، برای پروژه و ساختن یک اثر زیر زمینی، به مفهوم واقعی، تائید موارد زیرین، دارای اهمیتی پایه ای است:

### در مرحله طراحی و پروژه:

- داشتن شناخت عمیق از زمینی که در آن پروژه پیاده میشود، البته با توجهی خاص به ویژگیهای مقاومت و قابل تغییر شکل یابی آن؛
- پژوهشی مقدماتی (preliminare) در مورد اینکه رفتار تنشی- تغییر شکل یابی و یا به بیانی دیگر جواب دفرماتیو این زمین در قبال حفاری، بدون انجام دخالتهای پایدار کننده (interventi di stabilizzazione)، چگونه خواهد بود؛
- تعیین تیپ عمل حفاظتی (contenimento) و یا ما قبل حفاظتی (precontenimento) لازم برای تنظیم، رژیم بندی (regimare) و کنترل جواب دفرماتیو زمین در قبال عمل حفاری؛
- انتخاب تیپ دخالت پایدار کننده، از میان آنچه که امروزه تکنولوژی نوین در اختیار ما قرار میدهد، بر مبنای اعمال ما قبل حفاظتی و یا حفاظتی که این نوع دخالتها قادرند تضمین کنند؛
- آماده کردن ستسیون های تیپ (le sezioni tipo) بر اساس رفتار پیش بینی شده زمین مورد حفاری، و علاوه بر تعیین مناسبترین دخالتهای پایدار کننده در فضا (contesto)ی که انتظار داریم در آن عمل کنیم، مراحل (فاز)، ریتم (کادنت زا) و زمانهای لازم برای پیاده کردن آنها را نیز مشخص کنیم؛
- بعد بندی (dimensionamento) و کنترل (verifica)، دخالتهای از قبل انتخاب شده، از طریق محاسبه ریاضی، برای بدست آوردن رفتاری از زمین که مطابق خواست ماست و داری ضریب امنیتی لازم میباشد.

### در مرحله ساختن اثر زیر زمینی:

- کنترل اینکه، در روند کار (in corso d'opera)، رفتار زمین مورد حفاری با آنچه که از راه تحلیلی (آنالیتیک) در مرحله ی پروژه محاسبه شده است انطباق داشته باشد. بدین مفهوم که کار تهیه پروژه با تقسیم و متعادل (بالانس) کردن، وزن دخالتها در بین سینه کار و پیرامون ناحیه حفاری، ادامه یابد.
- نتیجه این شد که پروژه و ساختن یک اثر زیر زمینی، باید ضرورتاً، از نظر کرونو لوژیک، مراحل زیرین را طی کند:
- 1. **یک مرحله شناختی (fase conoscitiva)**، که بر مبنای شناخت ژئولوژیک، ژئو مکانیک و نیدرو ژئولوژیک زمین قرار دارد،

2. **مرحله دیا نوز (fase di diagnosi)** ، که بر اساس پیش بینی (previsione) رفتار زمین به مفهوم جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) آن، البته بدون دخالت‌های پایدار کننده، قرار دارد؛
3. **مرحله تری (fase di terapia)** ، که ابتدا مربوط میشود به، تعریف، روش (modalità) حفاری و پایدار کردن زمین به هدف تنظیم ویا به بیانی رژیم بندی (regimare) جواب دفرماتیو، و بدنبال آن ارزیابی، حد کارایی (efficacia)، راه حلهای انتخاب شده، از طریق تئوریک؛
4. **مرحله کنترل (fase di verifica)** ، که مربوط به کنترل رفتار واقعی زمین، از راه تجربی، در قبال عمل حفاری به زبان جواب تغییر شکل (دفرماتیو) زمین است، و هدفش عبارتست از تعیین سیستم های حفاری و و پایداری (stabilizzazione) تونل.

## 6.1 - معیار های آنکادر بندی (inquadramento) بر پایه ابروج ادکو-ار اس (PADECO-RS)

پروچ ادکو-ار اس (L'A.DE.CO.-RS)، با به متد هایی که تا با امروز همانند نقطه عطفی بودند، بعلت برخورداري از خصوصیات مختلف و بارز، تفاوت دارد. این پروچ:

1. بر این نظر است که پروژه (progetto) و ساختن (costruzione) یک تونل، همانند گذشته، دارای هویت یگانه نیستند، بلکه معرف دو لحظه کاملاً مختلف و با فیزیو نومی کاملاً مشخص چه از نظر کرونو لوژیک و چه از نظر عملی (پراتیک) میباشند؛
  2. بر پایه نوعی تازه از آنکادربندی آثار زیر زمینی قرار گرفته که مبتنی بر پارامتری واحد و مشترک برای تمامی انواع مختلف تونلهاست: رفتار تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو- دفرماتیو) سیستم سینه کار- هسته پیشروی؛
  3. بر اساس پیش بینی، کنترل و تفسیر جواب دفرماتیو توده زمین مورد حفاری، پایه گذاری شده و، این جواب دفرماتیو تنها پارامتری است که باید ابتدا از طریق تئوریک، همانند یک موضوع قابل پیش بینی و قابل تنظیم و رژیم بندی (regimazione)، و بعد از طریق تجربی، همانند موضوع اندازه گیری (lettura) و تفسیر برای تنظیم پروژه در طی پیشروی حفاری، در نظر گرفته شود؛
  4. مفهوم ماقبل حفاظتی (precontenimento) ناحیه مورد حفاری را وارد بحث میکند، که مفهوم حفاظتی (contenimento) را، که از قبل روشن بوده، کامل کرده، و بدین طریق، امکان میدهد که حتی برای شرایط استاتیکی بسیار مشکل نیز، از طریق برنامه ریزی، بدون دستیازی به فی البداهه سازی، به راه حل صحیح راه یافت؛
  5. بکار گیری سیستم های کنسرواتیوی (sistemi conservativi) را پیش بینی میکند، نا بتواند خصوصیات ژئو تکنیک و ساختاری زمین را (زمین مفهوم ماتریال و یا مواد ساختمانی)، در هنگامی که این فاکتور ها در سرعت و ریتم پیشروی حفاری زیر زمینی نقشی اساسی دارند، تا حد ممکن بدون تغییر (آلتراسیون) حفظ کند.
- عنصر ویژه این پروچ همانا وارد کردن مفهومی جدید در شتابندی (اسکماتیزاسیون) آثار زیر زمینی است.
- با حرکت از این نظریه که، تغییر شکل یابی (دفورماسیون) های زمین در طول حفاری و در نتیجه پایداری خود تونل، به رفتار هسته پیشروی بستگی دارد، میتوان، پایداری سیستم سینه کار- هسته پیشروی را، به عنوان عنصر اسکماتیزاسیون در پروچ مورد بحث در نظر گرفت. بدین طریق، هنگامی که یک پارامتر همچون معیاری برای تمامی تیپ های مختلف زمین مورد استفاده قرار میگیرد (رفتار تنشی-تغییر شکل یابی هسته زمین در آغاز سینه کار)، این بدین مفهوم است که پروچ مورد بحث قادر است محدودیتهای سیستم های قبلی را، بویژه در مورد زمینهایی که دارای مقاومتی پائین هستند، از سر بگذراند.
- همانگونه که در گذشته توضیح داده شد، سه کاته گوری رفتاری اصلی را میتوان در در نظر گرفت (شکل 14) :

- کاته گوري الف (A): رفتاري با سينه کار پايدار و يا از تيپ سنگي (lapideo) ؛
- کاتاگوري ب (B): رفتاري با سينه کار پايدار در کوته زمان و يا از تيپ کونزيو (coesivo) ؛
- کاته گوري پ ©: رفتاري با سينه ناپايدار و از تيپ فاقد لگام .

## کاته گوري الف (A)

کاته گوري الف در هنگامي قابل شناسائي است که، حالت کوآسيون (stato di coazione) زمین در سينه کار و در اطراف ناحيه حفاري، بر ويژگيهاي مقاومت زمین برتري نداشته باشد. هر چه قدر پروفيل حفاري به پروفيل تئوريك نزديك تر باشد، بهمان اندازه پديده آرك "effetto arco" نزديك پروفيل حفاري شکل ميگيرد. پديده هاي تغيير شکل يابي (دفرماتيو) که در پهنه الاستيك رشد ميابند، بزودي خود را نشان داده و داراي ابعادي در مقياس سانتيمتر است. سينه کار كاملا پايدار است. و مي تواند تنها ناپايداري هائي از نوع محلي (locale) که به جدا شدن هاي ثقلي بلوك هاي منفرد که ناشي از يك ساختار نامناسب توده سنگي است، از خود نشان دهد؛ در اين شرايط (contesto)، در واقع، ناهمگوني تنشي و تغيير شکل يابي (دفورماتيو) زمین نقش پر اهميتي را ايفا ميکند.

حضور احتمالي آب، حتي در رژيم ثيدرو ديناميك، باستثناي اينکه زمین مورد نظر قابليت آلتراسيون داشته باشد و يا اينکه گراديانت ثيدروليک (gradienti idraulici) بسيار شديد باعث آن حدي از شستشو (dilavamento) گردد که بتوانند مقاومت برشي را در طول سطوح نا مداوم (piani di discontinuità) از بين ببرند، تاثيري در پايداري تونل ندارد. دخالتهاي پايدار کننده بيشتر هدفشان جلوگيري از شل شدن زمین و حفظ پروفيل حفاري ميباشد.

## کاته گوري ب (B)

کاته گوري ب، هنگامي که سطح کوآسيون (lo stato di coazione) در زمین سينه کار و در اطراف محل حفاري شده، در طول پيشروي، توان مقاومتی زمین را در عرصه الاستيك از سر بگذرانند، قابل تشخيص است. پديده "تاثير آرك" بسرعت، در اطراف ناحيه حفاري، شکل نميگيرد، بر عکس در فاصله اي شکل ميگيرد که تابع ضخامت هلال زميني است که پلاستيچيزه (plasticizzato) شده است.

پديده هاي تغيير شکل يابي (دفرماتيو) در عرصه الاستو پلاستيك رشد ميابند، و داراي شکل هاي گوناگون (differiti) و در مقياس دسيمتر جاي دارند. سينه کار در شرايط رينتم معمولي (نرمال) پيشروي، در کوته زمان، پايدار بوده و پايداري آن مي تواند با افزايش و يا کاهش سرعت پيشروي بهبود يافته و يا بد تر گردد. کژديسي (دفرماسيون) هاي هسته، تحت شکل برآمدگي (استروزيون) ها، از آنجائیکه زمین هنوز قادر است باندازه کافي مقاومت باقيمانده (resistenza residua) را بسيج (mobilizzazione) کند، قادر نيستند پايداري تونل را مشروط کنند.

پديده هاي ناپايداري، تحت شکل جدا شدن هاي گسترده (spaccaggi diffusi) بر روي سينه کار و در اطراف ناحيه مورد حفاري، بما امکان ميدهند، تا بعد از گذار سينه کار، از دخالتهاي پايدار کننده سني از نوع راديال-حفاظتي (contenimento radiale) بهره گيري کنيم. در بعضي اوقات، بکار گيري دخالتهائي از نوع ماقبل حفاظتي (precontenimento) نيز، براي بالانس کردن دخالتهاي پايدار کننده بين سينه کار و ناحيه حفاري، به قصد کنترل پديده هاي دفرماتيو در حدي قابل قبول، مي تواند به يك ضرورت بدل گردد.

حضور آب، بويژه اگر در رژيم ثيدرو ديناميك باشد، از آنجا که باعث کاهش مقاومت برشي (capacità di resistenza al taglio) زمین ميگردد، کسترش پديده پلاستيچيزه شدن را بدنبال آورده و در نتيجه باعث افزايش پديده هاي ناپايداري ميگردد. در نتيجه لازم است که، بويژه در ناحيه سينه کار، از حضور آن جلوگيري شده و مسير آن به خارج از هسته انتقال يابد.

## کاته گوری پ (c)

کاته گوری پ، در هنگامی که سطح کوآسیون (stato di coazione) در زمین، بصورتی محسوس، حتی در ناحیه سینه حفاری، نسبت به مقاومت زمین برتری دارد، قابل تشخیص است. در این حالت پدیده تاثیر آرک، از آنجائیکه، زمین دارای مقاومت باقیمانده (resistenza residua) کافی نیست، نمیتواند، نه در سینه کار و نه در اطراف ناحیه حفاری، شکل گیرد، زیرا زمین دارای مقاومت باقیمانده (resistenza residua) کافی نیست. پدیده های کژدیسی (دفرماتیو) قابل قبول نبوده زیرا بسرعت در عرصه شکست (in campo di rottura) تحول میابند، و باعث ظهور ناپایداری هائی سنگین، از جمله ریزش سینه کار (crollo) و سقوط ناحیه حفاری (collasso) میگردند، بدون اینکه فرصتی برای دخالتهای حفاظتی رادیال (contenimento radiale) باقی بماند: در این حالت دخالتهای ماقبل تقویتی (preconsolidamento)، که از آغاز سینه کار لانس شده و باعث عمل ماقبل حفاظتی (precontenimnto) میشوند، قادرند پدیده آرک را بشکل مصنوعی (artificiale) ایجاد کنند.

حضور آب در رژیم ئیدرواستاتیک، اگر در سطحی پائین نباشد، با کاهش بیشتر توان مقاومت برشی (resistenza al taglio) زمین، باعث افزایش پلاستیسیزاسیون شدن و رشد نهائی، هویت پدیده های دفرماتیو می گردد. همین پدیده نیز در مورد رژیم ئیدرودینامیک، به عامل کشیده شدن (trascinamento) ماتریال و پیدایش پدیده سیفون (sifonamento)، یعنی ورود آب به سطح بینابینی زمین، میشود که مطلقاً غیر قابل قبول است. در نتیجه لازم است که از این پدیده ها، بویژه در منطقه سینه کار، با منحرف کردن مسیر آب به خارج از هسته، پیشگیری به عمل آید.

بر اساس تجربیات پخته شده در طی 25 سال پروژه و ساختن آثار زیر زمینی، مشاهده میشود که در تمامی آثاری که در قبل ساخته شده اند در درون این سه کاته گوری رفتاری جای میگیرند.

## 6.2 - مراحل رشد متد ادکو- اس (ADECO-RS)

در روند منطقی تهیه پروژه و ساختن تونل، اپروچی که بر پایه ی تحلیل های تغییر شکل (دفورماسیون) کنترل شده در سنگها و خاکها ساخته شده، بما پیشنهاد میکند که بر مبنای مراحل سنتز یافته زیرین (شکل 27)، عمل کنیم:

**بک زمان (momento) پروژه،** که شامل مراحل زیرین است:

- **بک فاز شناختی (fase conoscitiva):** که در طی آن طراح (progettista)، در رابط با زمین مورد حفاری، بدنبال تعیین خصوصیات زمین از نظر مکانیک سنگها و خاکهاست، که این کار برای تحلیل تعادل های هائی که از قبل بصورت طبیعی در زمین وجود دارد اجتناب نا پذیر بوده و در عین حال برای اینکه بتوان در مرحله بعدی و یا دیانوز (diagnosi) بصورت صحیح تری عمل کرد، لازم است؛
- **بک فاز دیانوستیک (fase di diagnosi):** که در طی آن طراح (progettista)، بر مبنای عناصر جمع آوری شده در مرحله شناختی، به تقسیم کردن (suddivisione) مسیر گالری به قطعاتی با رفتار دفرماتیو مشابه (omogeneo)، در فضای سه کاته گوری رفتاری آ، ب و پ که در قبل توضیح داده شد، عمل کرده و برای هر قطعه خصوصیات تحول دفرماتیو و نوع فشارهای (carichi) بسیج شده در اثر حفاری را، مشخص میکند؛
- **بک فاز تری (fase di terapia):** که در طی آن، طراح (progettista)، بدنبال پیش بینی های انجام شده در مرحله دیانوستیک، برای بدست آوردن پایداری کامل تونل، در باره انتخاب نوع عملی که باید اعمال شود (ما قبل حفاظتی و یا حفاظتی ساده) و دخالتهای لازم، در فضای سه کاته گوری رفتاری آ، ب و پ، تصمیم میگیرد. باین مفهوم که ترکیب ستسیونهای تیپ

طولي و عرضي (sezioni tipo longitudinale e trasversale) را تعیین، ابعاد آنها را مشخص و حد تاثیر آنها را از طریق ابزار محاسبه ریاضی تعیین میکند.

### يك زمان (momento) ساختن، که شامل میشود از:

- يك فاز عملی (ایراتیو): که در طی آن، ابزار کنترل پایداری تونل، بر مبنای پیش بینی های پروژه، در جایگاه خود تعبیه شده، از نظر حفاظتی و ماقبل حفاظتی با جواب دفرماتیو واقعی توده زمین تطبیق داده شده و آنها را بر اساس برنامه های کنترل کیفیت (piani di controllo qualità) که از قبل تعیین شده است، تحت کنترل قرار میدهد.
- يك فاز کنترل (وری فیکا): که در طی آن، از طریق بررسی و تفسیر پدیده های دفرماتیو (که جواب زمین در قبال عمل پیشروی حفاری است)، در طول زمانی ساختن اثر زیر زمینی، صحیح بودن پیش بینی های انجام شده در مرحله دیانوستیک و در مرحله تراپی، مورد کنترل قرار گرفته و در اینجاست که پروژه، از طریق بالانس کردن (bilanciamento) ابزار اندازه گیری پایداری، در بین سینه کار و ناحیه حفاری شده، تکمیل میابد. مرحله کنترل با اتمام تونل پایان نیافته و همچنان در طی تمام عمر تونل، بهدف کنترل مداوم امنیت در طی فعالیت آن (sicurezza d'esercizio)، ادامه خواهد داشت.

### طراحی (progettare) صحیح يك اثر زیر زمینی به مفهوم دانش بیش بینی

موارد زیرین، بر پایه شناخت تعادل های طبیعی از قبل موجود است: - پیش بینی رفتاری را که زمین در طی حفاری، از نظر پیدایش (innesco) و تحول پدیده های دفرماتیو از خود نشان خواهد؛ - پیش بینی تیپ دخالتهایی که، در فضای سه کاته گوری رفتار اصلی، باید اعمال شود (حفاظتی و یا ماقبل حفاظتی) و تیپولوژی دخالتهای لازم تا اینکه تغییر شکل یابیها (دفرماسیونها) در محدوده قابل قبول باقی بمانند؛ - پیش بینی زمان و ریتم دخالتهای، همچون تابعی از پیشروی حفاری و جایگاه سینه کار.

### ساختن (costruire) صحیح يك اثر زیر زمینی، از طرفی دیگر، به مفهوم

پیاده کردن نظریات و انتخاب هایی است که پروژه بر آن مبتنی است: در وهله اول ارائه تفسیری صحیح (با بهره گیری از هسته پیشروی همانند برترین کلید تفسیر) از جواب دفرماتیو زمین (که به معنی استروزیون و همگرایی سطحی و عمیق سینه کار و دیواره های حفاری است) بدنبال پیشروی حفاری و دخالتهای پایدار کننده؛ در وهله دوم، بعد از تفسیر نتایج اندازه های بدست آمده از دفرماسیون، تکمیل کردن عمق، سرعت و ریتم پیشروی، شدت، جایگاه و زمانهای پیاده کردن دخالتهای پایدارکننده با بالانس کردن (bilanciare) مناسب آنها در بین سینه کار و محیط حفاری.

## 6.2.1 - مرحله شناختی (fase conoscitiva)

عمل حفاری در زیر زمین به مفهوم بهم زدن تعادلی است که از قبل در زمین موجود است (equilibri preesistenti). طراحی (پروژه) حفاری زمین باین هدف که این اختلال تعادل در زمین مورد حفاری به حد اقل خود برسد، یعنی جواب دفرماتیو را در پائین ترین سطح (مینیمم) محدود کند، مستلزم شناختی است از پیش و در حد امکان کامل از وضعیت تعادل طبیعی که در زمین مورد حفاری، قبل از دخالت ما، موجود است. از آنچه گفته شد نتیجه میشود که قبل از طراحی (progettare) و در نتیجه ساختن تونل، مرحله ای بنام مرحله شناختی، که در طی آن شناخت زمین مورد حفاری، از نظر خصوصیات آن، از طریق بدست آوردن اطلاعاتی در مورد عناصر لیتولوژیک، استروکتورال، و لایه بندی (استراتوگرافیک)، مورفو لوژیک، تکتونیک، لیدرولوژیک، ژئوتکنیک، ژئومکانیک و تنش (تنسیونال)، ممکن میگردد، ضروری است تا طراح (progettista) بتواند تعادلهای طبیعی از قبل موجود را تحلیل کرده و بصورت صحیح، به مرحله بعدی یا "دیا نوستیک" راه یابد.

مطالعه در مرحله شناختی در دو فاز پی در پی پیش می‌رود.

در **اولین فاز**، یک پروفیل ژئولوژیک نمونه و تجربی (di tentativo) در محور مسیر (tracciato)، بر اساس نقشه ژئولوژیک ایتالیا با مقیاس 1: 1.000.000، و بر پایه اطلاعات موجود نقشه هائی هوائی (rilievi (aereofotogrammetrici که با نقشه هائی از سطح ترکیب شده، تهیه می‌گردد، که شامل موارد زیرین است:

- ریلی او لیتو لوژیک با تعیین کردن واحد های اصلی،  
 - ریلی او ژئو مور فو لوژیک، با توجهی خاص به شرایط پایداری سینه کوه (stabilità dei versanti)،  
 - ریلی او ژئو استروئورال با تعیین خطوط اصلی نا پیوسته (le linee principali di discontinuità)

ریلی او ئیدرو ژئو لوژیک، با تعیین سیستم ئیدرو لوژیک اصلی و مشخص کردن چشمه ها. در آخرین مورد تعیین کمیت آب چشمه ها با دنبال کردن تحولات آنها در طی ساختن تونل (in corso d'opera) برای تعیین اثر خشک سازی (effetto drenante) بر روی کمت آب.

پروفیل نمونه و تجربی (di tentativo) بایک سری از اسکد های لیتو لوژیک از لیتو تیپهائی که در مسیر حفاری دیده شده (in affiormento) و با آنها بر خورد کرده ایم، همراه است، که بر روی این تیپها، خلاصه و یا سنتز ریلی او های انجام شده قرار دارند.

در صورتی که، مطالعه مرحله اول، حفاری یک تونل راهنما (cunicolo pilota)، را قابل اجراء پیش بینی کند، در این صورت پروژه اجرائی (progetto esecutivo) می تواند از ریلی او های ژئولوژیک و ژئو مکانیک بدست آمده از تونل راهنما [8] و [9] به خوبی بهره گیری کند. همچنین از آزمایش های انجام شده در زمین مورد حفاری (سیتو) که برای ارزیابی ویژگیهای مقاومت و تغییر شکل توده سنگی، طراحی شده است، به خوبی بهره گیری کند.

در **دومین فاز**، بر مبنای دستاورد های مطالعه فاز اول، پروژه ای از تحقیقات ژئو نیوستیک (geognostico) تهیه میشود، پروژه ای که شامل مفاهیم تحقیقات ژئو فیزیک غیر مستقیم، آزمایش هائی در زمین مورد حفاری (سیتو)، و نمونه برداریها (sondaggi) که بیشتر بصورت نمونه برداری یا کاروتاژ مداوم (carotaggio continuo) است، تنظیم (taratura)، با جمع آوری نمونه های دست نخورده (campioni indisturbati) متناسب با توده زمین مورد حفاری، میباشد.

برای اینکه کمترین مزاحمت ممکن به توده زمین وارد شود، لازم است که برداشت نمونه های دست نخورده از طریق ابزارهای مناسب انجام گردد. نمونه های بدست آمده برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی-شیمیائی توده سنگی و همچنین در رابطه با تحولات آنها در طی زمان، و برای ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیک و ژئو مکانیک بکار میروند.

از این راه اطلاعات زیرین بدست می آیند:

- منحنی اینترینسک ماتریس (la curva intrinseca della matrice) ؛  
 - پارامتر های تغییر شکل یابی ماتریس (مدول الاستیک آغازین و مدول تغییر شکل (دفرماسیون) کل، که از دیدگاه سطوح تنشی (sollecitazione)، با تنشهای که بدنبال ساختن اثر ایجاد میشوند، قابل مقایسه اند).

تعیین ویژگیهای مقاومت و قابلیت تغییر شکل یابی نا پیوستگی های احتمالی ساختاری، در آنجا که ممکن هست، دارای اهمیت میباشد. زیرا از این طریق میتوان منحنی های اینترینسک و پارامترهای قابلیت تغییر شکل یابی توده زمین را، بر مبنای نتیجه گیری هائی دقیق بدست داد.

مطالعه فاز دوم از راه ارزیابی (استیما) وضعیت تنشی طبیعی، بر مبنای ارتفاع روباره (copertura) موجود و استروکتورهای تکتونیک اصلی (strutture tettoniche principali)، تکمیل میگردد.

بر حسب اهمیت پروژه و پیچیدگی ساختار تکتونیک موجود، کاملاً مناسب بنظر میرسد، که تنسور طبیعی نیرو ها (tensore naturale degli sforzi) در عمق ناحیه حفاری، در آنجا که ممکن است، مورد اندازه گیری قرار گیرد.

## 6.2.2 - مرحله دیانوستیک (fase di diagnosi)

در مرحله دیانوستیک، طراح (progettista)، بر مبنای عناصر جمع آوری شده در مرحله شناختی، به تقسیم مسیر مورد حفاری به قطعاتی (tratte) با رفتار

دفرماتیو همگون (هموژن)، در فضای سه کاته گوری رفتاری اصلی آ. ب، ث (سینه کار پایدار، سینه کار پایدار در کوتاه زمان و سینه کار ناپایدار)، میپردازد. در اینجا برای پیگیری این هدف او پیش بینی هائی را، از طریق تئوریک، بر پایه جواب دفرماتیو زمین در قبال عمل حفاری، با توجهی خاص به پدیده های دفرماتیو که، در غیاب دخالت های پایدار کننده، در سینه حفاری و متعاقب آن در حول ناحیه حفاری ظاهر میشوند، انجام میدهد.

تحلیل جواب دفرماتیو سینه کار-هسته پیشروی و ناحیه حفاری شده، از نقطه نظر تحولات (genesi)، جایگاه (locazione)، دگرگونی و هویت، با مراجعه به متد های تجربی و ابزار ریاضی از جمله خطوط کاراکتریستیک، عناصر محدود دو-سه بعدی (elementi finiti bi-tridimensionali)، و غیره، انجام میشود. متد ها و ابزار ریاضی نامبرده بسته به سطح صحت پارامتر های ژئوتکنیک و ژئومکانیک ورودی (input) قادرند طراح (پروجکتیست) را در تعیین اینکه قطعات مختلف تونل به کدامین یک از سه کاته گوری رفتاری آ، ب و پ، تعلق دارند، راهنمایی کنند. از بین ابزار نامبرده، متد خطوط کاراکتریستیک، که در اغلب موارد موجود قابل بهره گیری است، برای پیشبرد این هدف، کاملاً ساده و مناسب بنظر میاید (شکل 28).

در بین متد های تجربی، در یک سری از زمینها، آزمایش برآمدگی سینه کار (استروزیون) در سلول های سه محوری (cella triassiale) اجازه میدهند تا پیشروی تونل بر زیر روبراه های مختلف و تغییر وضعیت تنشی (تنسیونال) ناشی از حفاری سیستم سینه کار- هسته پیشروی در لابراتوار و بر روی نمونه های دست نخورده (campioni indisturbati) که از زمین مورد حفاری (سیتو) بدست آمده شبیه سازی گشته و در نتیجه تیپ رفتار آن تعیین گردد (شکل 28).

نتایج مطالعه دیانوستیک، در مورد تونل مورد نظر، در پایان کار به تهیه (stesura) یک پروفیل طولی میانجامد که در آن، از طرفی، تقسیم مسیر حفاری به قطعاتی (tratte) با رفتار دفرماتیو همگون و از طرفی دیگر کاته گوری رفتاری (آ، ب، پ) متعلق باین قطعات مشخص گردیده است.

بعد از تعیین تعلق هر قطعه (tratta) به یکی از سه کاته گوری رفتاری (الف، ب و پ)، تعیین موارد زیرین نیز، در محدوده هر کاته گوری، بخشی از مرحله دیانوستیک محاسب میاید:

**الف) تیپولوژی تغییر شکل (دفرماسیون) هائی** که در اطراف ناحیه مورد حفاری (بر آمدگی سینه کار، ماقبل همائی و همائی)، بسط میابد:

**ب) نشانه هائی از ناپایداری های** متعاقب و قابل پیش بینی، همانند:

- جدا شدن ثقلی و اسپلاکاژ (splaccaggi) در سینه کارکه ناشی از برآمدگی هسته و پدیده ماقبل همگرائی میباشد؛
- جدا شدن ثقلی و اسپلاکاژ در اطراف ناحیه حفاری شده که ناشی از همگرائی ناحیه مورد حفاری است؛
- سقوط (collasso) ناحیه حفاری شده که ناشی از ریزش (crollo) سینه کار است.

**پ) فشارهای بسیج شده در اثر حفاری (carichi mobilitati dallo scavo)** بر اساس مدل های سولید (modelli solidi) فشار و حلقه های پلاستیچیزه شده.

### 6.2.3 - فاز تریایی (fase di terapia)

در مرحله تریایی طراحی (progettista)، بر مبنای کاته گوری های رفتاری تعیین شده در مرحله دیانوستیک، به انتخاب نوع دخالتی (ماقبل حفاظتی، حفاظتی، و ماقبل حمایتی) که برای بدست آوردن پایداری کامل تونل (رژیم بندي پدیده های دفرماتیو) لازم است دست میزند.

از آنچه که در پاراگراف قبلی، در باره اهمیت سرسختی هسته پیشروی در رفتار دفرماتیو سینه کار و ناحیه حفاری شده، یعنی درباره پایداری کل تونل، ارائه شد، نتیجه میشود که در خطوط عمده خود سرسختی هسته:

- میتواند، در مورد تونلهائی با رفتار دفرماتیو با سینه کار پایدار، تنها ایفاگر نقش یک عمل حمایتی (contenimento) ساده باشد، (کاته گوری الف)؛

- باید در مسیری قرار گیرد که، در حالت تونلهایی با رفتار دفورماتیوی با سینه کار ناپایدار (کاته گوری پ)، علاوه بر نقش حمایتی (contenimento)، همچنین باعث تولید پدیده ماقبل حمایتی (precontenimento) بصورتی قوی و انرژی نیزگردد؛
- میتواند، در صورت تونلهایی با رفتار دفورماتیوی پایدار در کوتاه زمان (کاته گوری ب)، بین عمل ماقبل حمایتی (precontenimento) ناحیه حفاری شده و یا عمل حمایتی ساده (semplice contenimento) در این ناحیه، که تابع سرعت و ریتم ارزیابی شده در عمل حفاری است، یکی را انتخاب کند.
- انتخاب نوع دخالتی که بایستی انجام شود، و بدنبال آن تکمیل این انتخاب، چه از نظر سیستمها، ریتم، مراحل حفاری و بویژه دخالتها و ابزار پایدار کننده، و تعیین اینکه این دخالتها باید چگونه و در چه جایی، نسبت به جایگاه سینه کار، و در محدوده سه کاته گوری رفتاری (الف، ب، پ)، انجام گیرد تا اینکه بتواند نتایج مورد خواست ما را تولید کند.
- برای اینکه بتوانیم، در عمل، به نوع دخالتی که از قبل تعیین شده دست یابیم، طراح یک سری ابزاری را در اختیار خود دارد که از طریق آنها می تواند تمامی انواع دخالت های پایدار کننده لازم را عملاً پیاده کند.
- باید یاد آوری کرد که دخالتهای پایدار کننده از تیپ های زیرین اند:
- **حفاظتی (کنسرواتیو)**، هنگامی که تاثیر اولیه این دخالتها عبارت است از محدود کردن (contenere) کاهش تنش اصلی کوچک (la tensione principale minore).
- **هیود بایی (میلیوراتیو)**، هنگامی که این دخالتها عمدتاً باعث افزایش کاراکتریستهای مقاومت برشی (resistenza al taglio) زمین میگردند؛
- **آنجا که، در ناحیه حفاری شده، دخالتها تاثیر ماقبل حفاظتی (precontenimento) [1] (شکل 29) ایجاد میکنند، در بین ابزاری که در اختیار طراح (progettista) قرار دارد، آنهایی که بطور عمده تولید کننده تاثیر **حفاظتی (کنسرواتیو)** هستند، عبارتند از:**
- ایجاد نواره هائی ازسیمان (spritz-beton) با فیبرهای تقویت کننده (fibrorinforzato) که از طریق پره تالیو (pretaglio meccanico)، در مسرطولی پروفیل حفاری، با بکار گیری پره تالیو همانند کاسه فورم (casforme) انجام میگیرد [3] [10]؛
- **ماقبل تقویتی هسته (preconsolidamento del nucleo)**، از طریق بکارگیری لوله هائی از جنس وترو رزینا (tubi di vetroresina)، برای عمقی نه کمتر از قطر حفاری، که از طریق سیمان رقیق (malta cementizia) در زمین تثبیت شده و تعداد آنان باندازه مقاومت برش (resistenza al taglio) ای است که مورد خواست ماست [3] [10] [11] [12] [13]؛
- چترهای استوانه ای-مخروطی (ترونکو-کونیک، tronco-conico)، که از نزدیکی ستونهای شبه افقی (suborizzontale) زمین ساخته شده و از طریق جت-گراوتینگ (jet-grouting) تحکیم یافته است، [10] [14].
- بر عکس ابزاری که بصورت غالب تأثیری **هیود دهنده (miglorativo)** دارند، عبارتند از:
- چترهای ترونکو-کونیک (tronco-conico)، از زمین که از طریق تزریق های سنتی و یا از طریق یخبندی (congelamento) بوجود می آیند؛
- چترهای ترونکو-کونیک (tronco-conico) از تخلیه آب (درناژ)، در آنجا که فالد آب (falda) حضور دارد.
- **آنجا که دخالتها تأثیری در حفاظت ناحیه حفاری شده دارند، در بین ابزاری که در اختیار طراح (progettista) قرار دارد، آنهایی که عمدتاً تاثیر **حفاظتی (کنسرواتیو)** دارند عبارتند از:**
- **یوسته ای از بتون پاشیده شده در مرحله اول، که فادر است، متناسب با ضخامت خود، یک فشار حفاظتی در اطراف ناحیه حفاری شده ایجاد کند؛**
- حفاری مکانیزه شده تمام مقطع از طریق سپر های فشاری (scudi a pressione)، که قادرند فشار حفاظتی بر روی سینه کاروناحیه حفاری شده ایجاد کنند (حلقه پوششی سیمانی از قبل ساخته شده (conci prefabbricati)؛
- حفاری مکانیزه شده از طریق سپر های باز و یا لانس (scudi aperti o lance)، که در طی عملیات حفاری حفاظت شعاعی (contenimento radiale) در زمین ایجاد می کنند؛
- پیچهای شعاعی (bullonatura radiale) تشکیل شده از پیچهای آنکوراژ نقطه ای (bulloni ad ancoraggio puntuale) که بر روی بدنه (paramento) گالری، یک فشار



اکتیو حفاظتی ایجاد می‌کند، که از نظر اندازه متناسب است با نیروی ما قبل تنشی (pretensione) که در این پیچها از طریق کششی ایجاد شده است. آرک معکوس (arco rovescio)، که تولید کننده یک استراکتور پوششی بسته است، توان هلال پوششی مرحله اول و دوم را چند برابر کرده و باعث ایجاد فشارحفاظتی بالایی در اطراف ناحیه حفاری شده می‌گردد.

### **دخالت های زیرین، بر عکس، تاثیری، بصورت غالب، بهبود یابنده (migliorativo) دارند:**

حلقه ای از زمین آرمه (terreno armato) در اطراف ناحیه حفاری شده، که از طریق پیچهایی با (continua aderenza) که قادرند باعث افزایش مقاومت برشی زمین گردند و بدن طریق بالا آمدن منحنی اینترینسک (curva intrinseca)، را بدنبال داشته باشند ابزاری که، به این دو کاته گوری تعلق ندارند یعنی اینکه نه تاثیر ماقبل حفاظتی و نه حفاظتی تولید میکنند، بر حسب اینکه بر روی آغاز سینه کار عمل کنند و یا نه، بعنوان **دخالتهای ماقبل کمکی (presostegno) و یا کمکی (sostegno)** شناخته شده اند. آنها، از آنجائی که قادر نیستند نه کاهش تنش اصلی کوچک (tensione principale minore) را باندازه کافی کنترل کنند و نه مقاومت برشی زمین را بهبود بخشند، هیچ نقشی در تشکیل پدیده آرک (l'effetto arco)، ندارند.

از جمله دخالتهای از نوع ماقبل کمکی (presostegno)، بعنوان مثال، عبارت از اینفیلایها (gli infilaggi) هستند، که در واقع وارث سیستم گذشته گام به پیش (marciavanti)، میباشد، که با اینکه از عناصر استراکتورالی ساخته شده اند که بر روی آرک های آهنی که بعد از حفاری جایگذاری شده، بر روی خط مولد دایره ای شکل قرار میگیرند، از آنجائی که این عناصر امکان همکاری دو جانبه بصورت عرضی (trasversale) ندارند، قادر نیستند پدیده آرک را در هنگام پیشروی ایجاد کنند.

### **6.2.3.1- ترکیب ستسیون های تیپ (le sezioni tipo)**

**(tipo)**

در پاراگراف های قبلی دیدیم که پایداری سیستم سینه- هسته پیشروی، نقش اصلی را در جواب دفرماتیو توده زمین در هنگام شکافتن ناحیه حفاری و در نتیجه بر روی پایداری تونل در کوتاه و بلند مدت، ایفا میکند. همچنین دیدیم که شرایط پایداری این سیستم در سه گاته گوری رفتاری اصلی خلاصه میشوند، که نوع تونلی که در قطعه مورد بررسی باید مورد حفاری قرار گیرد مشخص کرده و بدنبال آن زمان تیپ دخالتهای پایدار کننده که باعث پایداری و امنیت اثر زیر زمینی می‌گردد، را انتخاب میکند.

با در نظر گرفتن این مسئله، در **شکل 30**، و در فضای تقسیم بندی (inquadramento) پیشنهاد شده، عرصه بکارگیری هر یک از ابزار پایدار کننده بصورتی اسکماتیک اشاره شده و در اختیار طراح (progettista) تونل قرار میگیرد، تا از طریق ترکیب آنها (assemblaggio) بتواند ستسیون های تیپ مناسب برای تضمین عملی بودن (fattibilità) حفاری و پایداری ناحیه حفاری در کوتاه و بلند مدت تهیه کند، بویژه:

در قطعات تونل با سینه پایدار (کاته گوری رفتاری: الف، فشارها (sollecitazioni) : در عرصه الاستیک، با نشانه هائی از ناپایداری از نوع: ریزش های ثقلی)، دخالتهای پایدار کننده پیشنهاد شده عمدتاً دارای نقش حمایتی (protettiva) بوده و بر مبنای ترکیب استاکتورال توده زمین و حضور احتمالی آب تعیین شده اند؛

در قطعاتی از تونل که پایداری سینه کار در کوتاه مدت است (کاته گوری رفتاری: فشارها ها (sollecitazioni) : در عرصه الاستو پلاستیک، ظهور ناپایداری هائی از نوع: جدائی قطعاتی از سنگ بعلت بر آمدگی هسته (splaccaggi per estrusione del nucleo)، ماقبل همگرایی و همگرایی ناحیه حفاری شده)، دخالتهای پایدار کننده باید شکل گری پدیده آرک (l'effetto arco) را، تا حد امکان، در نزدیک پروفیل حفاری تضمین کنند. در نتیجه ابزاری پیشنهاد میشود که قادرند از کاهش (decadimento) ویژگیهای مقاومت و قابلیت تغییر شکل یابی زمین با

توجهی خاص به سیستم سینه کار-هسته ی پیشروی، جلوگیری کرده و باعث بسط اعمال حفاظتی (contenimento) و ماقبل حفاظتی (precontenimento) مناسب برای جلوگیری از زایش پدیده های پلاستیجیواسیون توده زمین گردند، ویا اینکه تا حدودی وسعت آن را محدود کنند؛

- در قطعاتی از تونل با سینه کار ناپایدار(کاته گوری با رفتار : پ فشارها (ssollecitazioni) : در عرصه شکست (rottura)، نشانه هایی از ناپایداری از نوع: ریزش سینه کار (crollo fronte)، سقوط ناحیه حفاری شده (collasso della cavità) دخالت‌های پایدار کننده باید شکل‌گیری پدیده آرك مصنوعی را از قبل بر روی سینه حفاری تضمین کند. در نتیجه ابزاری بعنوان ما قبل حفاظتی (precontenimento) ناحیه حفاری شده پیشنهاد میشوند که با تضمین پایداری سیستم سینه کار-هسته پیشروی، البته در هنگامی که پدیده های دفورماتیو هنوز قابل کنترل اند، در عمل از به صفر رسیدن تنسیون اصلی مینیمم ( $\sigma_3$  la tensione principale minore) جلوگیری میکنند.

تابلوی شکل 30 میتواند در هر صورت از طرف طراح (progettista) برای تعریف ستسیون های تیپ چه از نوع طولی و چه از نظر عرضی، همچون معیاری مورد بهره گیری قرار گیرد .  
شکل 31، بعنوان مثال، ترکیب ستسیون تیپ پ1 (C1) را نشان میدهد.

## 6.2.3.2- بعد بندی و کنترل مقطع (ستسیون) تیپ. سنتزی از مرحله ترایی (fase di terapia)

بعد از اینکه تیپ دخالت‌های لازم انتخاب و پروژه این دخالت‌ها برای پیاده کردن آماده و ترکیب مقطع (ستسیون) های تیپ تعیین شد، آنچه برای کار طراح (progettista) باقی میماند عبارت است از بعد بندی و کنترل (verifica) ستسیون های تیپ از طریق متدهای محاسبه ای، که در قبل در مرحله دیانوستیک بکار برده شده اند. در این مورد آنچه دارای اهمیت ویژه است، از طرفی، عبارت است از کنترل صحیح بالانس و تعادل دخالت‌هایی که باید در بین سینه کار و محیط حفاری شده تقسیم شود و از طرف دیگر، ارزیابی درجه کارایی (efficacia) دخالت‌ها بر مبنای قابل قبول بودن رفتار تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو-دفورماتیو) پیش بینی شده در تونل بعد از خاتمه دخالت‌ها ست. طبیعتاً محاسبه، بر حسب شرایط ویژه تنسو-دفورماتیو فرض شده میتواند از طریق مدل‌های ساده ای از “همگرایی-حفاظتی” (convergenza-contenimento) و یا بر عکس با مدل های پیچیده ای از برآمدگی-حفاظتی (contenimento-estrusione) و یا برآمدگی-ماقبل حفاظتی (estrusione-precontenimento) انجام شود.

علاوه برمقطع (ستسیون) های تیپ اصلی، میتوان ستسیون های تیپ فرعی نیز طراحی کرد تا بتوان از آنها بصورت همزمان برای شرایطی که از نظر آماری (استاتیسٹیک) بیشتر محتمل است بهره گیری کرد، البته بر مبنای اطلاعاتی که ما در دست داریم جای بکار گیری این نوع ستسیون ها قابل پیش بینی نیست. این دو نوع ستسیون یعنی اصلی و فرعی، بصورتی یگانه تعیین میشوند، از این نظر که، برای هر یک از آنها، علاوه بر تشریح دقیق تیپولوژی، شدت، (intensità)، مراحل و ریتم انجام دخالت‌ها، بروشی شرایط ژئولوژیک-ژئومکانیک و تنشی-تغییر شکل یابی (برآمدگی سینه کار و همگرایی) ای که ستسیون تیپ باید در محدوده آن بکار برده شود نیز، روشن خواهد شد.

وارد کردن ستسیون های تیپ فرعی در پروژه بما اجازه میدهد تا تونل را در رژیم از بیمه کیفی (in regime di Assicurazione di Qualità) همانگونه که در قواعد ایزو (ISO) (9000) [15] تصریح شده است، بسازیم.

نتایج مطالعه ترایی بر روی پروفیل ژئو مکانیک تونل خلاصه میشود، که در آن، برای هر قطعه با رفتار دفورماتیو همگون (هموژن)، ستسیون تیپ مناسب بکار برده میشود.

## 6.2.3.3 - هسته پیشروی در زیر فالد آب (water table)

همانگونه که اطلاع داریم، آب در رژیم نیدروستاتیک، و حتی بیشتر در رژیم نیدروستاتیک، باعث کاهش قابل توجه ویژگیهای های مقاومت و قابلیت تغییر شکل یابی زمین میگردد. علاوه بر آن روشن است که یک تونل که در آب (falda acquifera) حفاری میشود همانند تخلیه (dreno) بزرگی عمل میکند: در توده زمین یک حرکت فیلتری آب (moto di filtrazione) بطرف سینه حفاری ایجاد میگردد، که قبل از هر چیز به هسته پیشروی مربوط میگردد، که متعاقب آن، هسته، بخش مهمی از سرسختی (rigidezza) خود را از دست میدهد.

از آنجائیکه، همانگونه که دیدیم، این مسئله در پایداری کوتاه مدت و دراز مدت تونل دارای نقشی تعیین کننده ایست، لازم است که از جریان آب در درون هسته پیشروی جلوگیری بعمل آید. باین هدف، در رابطه با شرایط مختلف (تغذیه آب زیر زمینی-falda، گرادی انت- gradienti موجود و غیره) میتوان با دخالتهای سیستماتیک به هدف آمپر مه آبل کردن (impermeabilizzazione) هسته و اطراف ناحیه حفاری شده (پیشروی در رژیم نیدروستاتیک) و یا از راه کانالیزه کردن آب در طولی باندازه 3 و یا 4 برابر قطر تونل (در طول هسته) از آغاز سینه کار با بکار گیری لوله های ویژه تخلیه (درناژ) که بصورت چتری در اطراف ناحیه حفاری آینده جای گرفته اند (پیشروی در رژیم نیدروستاتیک) دست یافت.

در باره آخرین مورد یاد شده، برای اینکه کار آمد عمل دخالتها (trattamenti) در مسیر پیشروی دچار اخلاص نشده و نتایج معکوس ندهد، باید بدین مسئله توجهی دقیق داشت که تخلیه ها (dreni) بصورتی کامل و بر طبق اصول انجام گیرد.

بویژه باید از این عمل جلوگیری کرد که لوله های تخلیه از آغاز سطح سینه کار در داخل زمین وارد شوند. بلکه بر عکس لوله های تخلیه بایستی بر طبق تیپولوژی استوانه ای - مخروطی (ترنکو- کونیکو) و یا آغاز از دیواره های (paramento) پهلویی تونل و یا بر روی خط پیرامون سینه کار تعبیه گردند بطوری که بهیچوجه باعث قطع هسته نگردند. در غیر این صورت در واقع آبی که از طریق لوله ها جریان میابد باعث خیس شدن زمین سازنده هسته گشته و تأثیرات تخریبی زیادی را بر روی پایداری تونل در تمامیت خود ایجاد میکند. برای دور کردن این خطر لازم است که لوله های (tubi drenanti) تخلیه ای بکار برده شده، در قطعه ای بطول چند متر در بخش آغازین خود که نزدیک به سینه کار تونل است فاقد روزنه باشند.

مشابهها، بهمین علت، باید همین توجه را در مورد اجراء صحیح عمل استحکام بخشی (trattamento di consolidamento) از طریق وارد کردن لوله های تقویتی (elementi di rinforzo) در هسته پیشروی قبل از سوراخ کردن انجام داد. لازم است که هر بار یک سوراخ انجام و بزودی آرمه شده و از طریق دوغاب (malta cementizi) کاملاً بسته و قفل گردد. تنها با اجراء روشی که گفته شد سوراخ ایجاد شده در کوتاه مدت به راه آب مناسبی برای تخریب هسته بدل نگشته، هسته ای که اگر مرطوب و نرم گردد دیگر قادر خواهد بود نقش خود را همانند عاملی پایدار کننده بصورتی کارا ایفاء کند.

## 6.2.4 - مرحله کنترل (fase di verifica)

هنگامی که مرحله پروژه (progettazione) پایان یافت، آغاز کار حفاری (خطه ساختن) با مرحله کنترل (verifica) که سطح صحت پیش بینی هائی انجام شده در مرحله دیانوز (fase di diagnosi) و مرحله تراپی (fase di terapia) را از نظر پدیده های تغییر شکل یابی (دفرماتیو) نشان میدهد، همزمان میباشد. این کنترل (از آنجائیکه پروژه در کلیت خود بر اساس این پیش بینی ها بنا شده، دارای اهمیت ویژه ایست) از طریق اندازه گیری و کنترل جواب واقعی (reale risposta) زمین در قبالی عمل حفاری انجام میگردد. جوابی که خود را از طریق پدیده های تغییر شکل یابی زیرین نشان میدهد:

در داخل ناحیه حفاری شده (cavità)، یعنی در بخش سینه کار و دیواره های حفاری؛

بر روی سطح زمین، یعنی در مسیر آینده تونل (tracciato della galleria) . برای این هدف تعبیه ایستگاه‌های مناسب اندازه‌گیری در آغاز و همچنین در پایان سینه کار، یعنی در ناحیه حفاری شده، پیش‌بینی گردیده است (شکل 32) . در واقع، هنگامی که پیشروی در شرایط پایداری کوتاه مدت و یا ناپایداری سینه کار پیش‌بینی شده است، هر گاه که ضخامت روباره تونل اجازه می‌دهد، بکارگیری ستسیونی ویژه برای ابزار چند پایه (multibase) عمودی برای اندازه‌گیری پدیده‌های دفرماتیو شعاعی که پیدایش آن را از پیش نشان می‌دهد (ماقبل همگرایی)، کاملاً جالب توجه است و میتوان آن را پیشنهاد کرد. در رابطه با سیستم سینه کار- هسته پیشروی، نیز، از طریق استنسی متر (ابزاری که برای اندازه‌گیری شکم دهی و یا استروزیون سینه کار بکار می‌رود) از نوع اسلایدینگ میکرومتر (sliding micrometer) طولی و استنسی مترهای شعاعی و چند پایه ای (estensimetri radiali e multibase) که با لوله‌های نازک قابل مونتاژ (aste) همراه هستند، بترتیب برآمدگی سینه کار و همگرایی‌های سطحی و عمیق را، با فاصله‌های مختلف از سینه کار، در درون توده زمین مورد کنترل قرار می‌دهند، در حالیکه با استنسیمتری (estensimetro) ویژه بشکل نوار، همگرایی (convergenza) های محیطی (perimetrale) در پایان سینه کار یعنی در ناحیه حفاری شده مورد کنترل قرار می‌گیرد.

هر چه این اندازه‌گیریها بصورت سیستماتیک و با دقت انجام شوند، بهمان اندازه اطلاعاتی که از آنها ناشی می‌گردند برای طراح (progettista) بیشتر قابل اعتماد و مفید می‌باشد. کار طراح، بر حسب محیطی که این پدیده‌ها در آن تحول می‌ابند، میتواند کم و بیش پیچیده باشد.

بدرستی، اگر پیشروی در زمینی با رفتاری از تیپ لاپیدئو (lapideo) یا گسیخته (sciolto)، یعنی بترتیب در زمینی متعلق به کاته گوری A و یا C انجام شود، که در آن پدیده‌های دفرماتیو پیش‌بینی شده مجدی کوچکند که تولید نگرانی نمیکنند (این حالت در مورد زمینهای سنگی در زیر روباره ای ضعیف و متوسط صادق است) و یا این پدیده‌ها مجدی قوی هستند که قابل قبول نبوده و ما را مجبور میکنند تا به استحکام (contenimento) ناحیه حفاری بپردازیم (این مورد در باره زمین‌های ناهمگون (incoerenti) با هر روباره ای و در باره زمین رسی (ارجیل) و سنگی (لیتوید) در زیر روباره‌های قوی صدق میکند) در این مورد وزنه کنترل کمتر می‌گردد، زیرا که در این موارد پدیده‌های دفرماتیو دارای رشدی سریع در زمان و هویتی محدود می‌باشند. در نتیجه کار طراح (progettista) نیز، بعد از انتخاب مناسب رژیم‌اسیون در شرایط واقعی، کاری بسیار سبکتر است.

اما در هنگامی که پیشروی در زمینی با رفتاری از نوع کوئزیو (coesivo) انجام می‌گیرد (کاته گوری ب)، نه تنها نقش طراح (progettista) فرق میکند، بلکه دقت و توجهی که او باید برای تحلیل دفرماسیون‌های سیستم سینه کار- هسته پیشروی و همگرایی سطحی و عمقی و تحولات آنها در زمان و مکان در طی حفاری، بکار گیرد تغییر میکند.

در این حالت، در واقع، از آنجائیکه با پدیده‌های دفرماتیو، کند و پیشرونده و مختلف با هویتی مداوم و پیشرونده سروکار داریم، تنها با کنترل مداوم دفرماسیون‌ها، طراح تونل قادر است، اطلاعات لازم را که از طرفی برای بهبود شدت و تعادل (bilanciamento) دخالت‌های پایداریکننده بین سینه کار و ناحیه حفاری شده و از طرفی دیگر برای تنظیم مراحل، ریتم و سیستم‌های حفاری لازم است، بدست آورد.

در نتیجه لازم به تکرار نیست که تا چه اندازه توانایی تفسیر صحیح نتایج بدست آمده از طریق کنترل، اهمیت دارد، زیرا پیاده کردن درست پروژه در حین اجراء (in corso d'opera)، بستگی به تفسیر صحیح نتایج بدست آمده از طریق کنترل دارد.

در حین اجراء پروژه، نتایج بدست آمده از طریق اندازه‌گیری (monitoraggio) همانند راهنمای عمل طراح (progettista) و ریاست کار (Direzione Lavori) میباشد که از طریق آن در مورد مناسب بودن بکارگیری ستسیون تیپ اصلی پیش‌بینی شده و یا تغییر احتمالی بعضی از بخش‌های آن بر پایه معیارهای اشاره شده در پروژه (با انتخاب ستسیون تیپ فرعی (که در هر صورت همیشه از طریق پروژه برای قطعه مورد حفاری پیش‌بینی شده)، تصمیم‌گیری میشود، و یا اینکه، در صورت لزوم، یک ستسیون تیپ جدید برای مقابله با شرایطی ویژه که در مرحله شناختی تشخیص داده نشده و در نتیجه در پروژه پیش‌بینی نشده است، طراحی می‌گردد.

باید تاکید کرد که مرحله کنترل (fase di verifica) با اتمام تونل پایان نمی‌یابد، بلکه این مرحله باید با مونیتوراژ سیستماتیک (monitoraggio)

(sistematico) که هدف آن کنترل ایمنی تونل در طول تمامی زندگی آن در هنگام بهره برداری (vita d'esercizio) است، ادامه خواهد یافت.

## 7. نتیجه گیری های نهائی (Considertazioni conclusive)

اگر پدیده های تغییر شکل یابی (دفرماتیو) که معمولاً در داخل تونل در مرحله پیشروی دیده میشوند در فضائی از روند علت و معلولی (-causa) effetto تفسیر شوند، بنظر منطقی می آید که بتوان علت (causa) را در عملی که بر روی زمین (mezzo) انجام میشود و معلول (effetto) را در جواب تغییر شکل یابی (دفرماتیو) زمین، که متعاقب آنست، دانست.

بر این مبنا، در حالیکه علت (causa)، تا چندین سال پیش، نه موضوع قابل توجهی بود و نه لایق تحلیل های عمیق، و ظاهراً بنظر تعیین شده میآمد، در حالیکه معلول (effetto) در شکل همگرایی (convergenza) ناحیه حفاری شده بسرعت خود را نشان داد و به موضوع مطالعات تبدیل شد (شکل 33). بر مبنای این مطالعات، تئوری ها و اپروچ های طراحی و سیستم های تونل سازی تهیه شد که تصور میشد قادرند تمامی مسائل مربوط به حفاری تونل را از طریق بکار گیری عمل ساده حفاظت شعاعی (contenimento radiale) حل کنند (شکل 34).

در بین اولین تئوری های شناخته شده "تئوری خطوط کاراکتریستیک-teoria delle linee caratteristiche" که از طریق لومباردی (Lombardi) بسط یافت و همچنین متد "metodo di convergenza- confinamento" که از طریق پانه (Panet) [4]، [5]، شکل گرفت، قرار داشتند، هر چند این متد ها، برای اولین بار، تاثیری مثبت (l'effetto benefico) در پایداری ناحیه حفاری شده (cavo) در اثر وجود هسته پیشروی از خود نشان دادند، در واقع نتوانستند پیشنهاد هائی کارا و موثر چه در مورد اینکه چگونه می توان از این پدیده بهره گیری کرد و چه در مورد اینکه چگونه بایستی با شر ایط ناپایداری سینه کار به مقابله پرداخت، ارائه دهند.

در میان متدهائی از نوع دوم، متد ناتم (NATM) که بر مبنای کلاسه بندی ژئو مکانیک ساخته شده (که غالباً برای اهدافی جدا از آنهایی که برایش تنظیم شده است بکار میرود) قرار دارد، که بدون شک در بدو پیدایش خود نسبت به گذشته پیشرفت قابل توجهی را نشان میداد. متد ناتم (NATM) اصولاً دارای ارزشهای زیرین است:

- برای اولین بار زمین (terreno) را همانند مواد ساختمانی در نظر میگیرد؛
- از تکنولوژی نوین برای حفاظت ناحیه حفاری شده (contenimento del cavo) با اعمال اکتیو (azione attiva) همانند بتون پاشی (lo spritz-beton) و پیچها (bulloni)، بهره برداری میکند؛
- به ضرورت اندازه گیری و تفسیر سیستماتیک جواب دفرماتیو توده زمین توجهی خاص دارد.

امروزه از آنجائیکه مسئله استاتیک تونل، بدون استثناء، همانند یک مسئله مسطح (problema piano) در نظر گرفته شده و تمامی توجه بر روی همگرایی (convergenza) ناحیه حفاری شده متمرکز شده است، در نتیجه روش موجود (و تمامی متد های ناشی از آن) محدودیتهای مهمی را با خود همراه دارد:

- معرف سیستمی از طبقه بندی (کلاسیفیکاسیون) نا کامل (parziale) میباشد، زیرا در مورد تمامی تیپ های زمین و تمامی شرایط تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو- دفرماتیو) قابل تطبیق نمی باشد؛
- از اهمیت هسته پیشروی و ضرورت بهره گیری از آن همانند ابزار پایدار کننده شرایط تنسو-دفرماتیو، در شرایط پیچیده صرف نظر میکند؛

- از بهره‌گیری تمامی تکنولوژی‌های مدرن صرف نظر کرده و پایدار کردن تونل را تنها از طریق دخالت‌های ساده حفاظتی ناحیه حفاری شده، پیشنهاد میکند؛
- مرحله طراحی (progettazione) تونل را همانند مرحله ای کاملاً جدا و مستقل از مرحله ساخت تونل (costruzione) نمی‌بیند؛.
- مسئله کنترل مناسب بودن و صحیح بودن ابعاد بکار برده شده در راه حل‌های طراحی تونل در طی حفاری (controllo in corso di opera) از آنجائی که کلاس‌های (classi) ژئو تکنیک را، بصورتی نا روشن با هویت جواب دفرماتیو زمین مقایسه میکند، مسئله کنترل مناسب بودن و صحت ابعاد بکار برده شده در راه حل‌های پروژه را با روشی غیر علمی حل میکند.
- این برداشت نادرست که تاثیر عمل انجام شده بر روی زمین در طی حفاری، تنها از طریق همگرایی ناحیه حفاری شده قابل تشخیص است، دهها سال نسل‌های کامل را چه در ایتالیا و چه در خارج کشور از مسیر درست خود منحرف نموده است، که بر مبنای آنچه که در متد های پروژه و ساختمانی موجود پیشنهاد شده اند (NATM) و متد های ناشی از آن، که هنوز امروزه براین اعتقاد ارزش می‌نهند)، که بجای اینکه بدنبال علت ناپایداری تونل بروند، بر روی معلول‌ها متمرکز شدند (مقابله با همگرایی ناحیه مورد حفاری از طریق اعمال ساده حفاظتی (azioni contenimento) [16]، [17].
- این روش مقابله با مسائل امکان داد که حفاری تونل در شرایط تنشی-تغییر شکل یابی (تنسو-دفرماتیو) پائین و متوسط با موفقیت انجام شود، اما محدودیتهائی را در مقابله با شرایط تنسو-دفرماتیو بالا و ماوراء بالا (estreme) ، از خود نشان داد که ناشی از علل زیرین است:
1. نا توانی پیش بینی درست در باره رفتار تونل در مرحله پیشروی و در نتیجه عدم وجودیک مرحله دیانوستیک در روند های پروژه ای؛
  2. بداهه سازی در یافتن راه حل (improvvisazione) در مقیاس کنترل و محدود کردن پدیده های تغییر شکل یابی، که توان پیش بینی آن از قبل وجود نداشته است؛
  3. عدم وجود سیستم های پایدار کننده کارا، که بتواند علل‌های ناپایداری (تغییر شکل پذیر هسته) را معالجه کند و نه تنها معلول آن را (همگرایی)؛
  4. نا توانی در پیش بینی، از نقطه نظر خطر (ریسک) ها، زمانها و تولید های قابل پیش بینی (le produzioni prevedibili) .
- در مقابل این شرایط، تونل‌هایی از تیپ های مختلف، حتی تونلهائی با شرایط تنشی-تغییر شکل یابی بالا و ماوراء بالا که رشدی ثابت و پیشرونده داشتند، خواستار تنظیم (elaborazione) فوری تئوری و روند مناسبی برای کنترل جواب دفرماتیو زمین، نه تنها در شرایط تنشی-تغییر شکل یابی نه چندان مشکل، بلکه در تمامی شرایط ممکن تنسو-دفرماتیو بودند.
- برای خروج از این شرایط راکدی که بوجود آمده بود می‌بایستی مسئله را بسوی واقعیت سوق داد و آنرا همانند مسئله ای سه بعدی (problema tridimensionale) که در واقعیت وجود دارد، با در نظر گیری نه تنها بخش‌های آن، بلکه با در نظر گیری کل تحول دینامیک حفاری، مورد بررسی قرار داد.
- از این نظر، تحقیقی تئوریک و تجربی آغاز شد که از آن پایه های اپروچی تازه مشتق گردید. اپروچی بر مبنای تحلیل کژدیسی ها و تغییرات کنترل شده در سنگها و خاکها ( **Analisi delle DEformazioni COntrollate nelle Rocce e nei Suoli**) که در این ده پانزده سال آخر در زمین‌های از نوع مختلف و در شرایط تنسو-دفرماتیو متفاوت، و حتی در شرایطی بسیار دشوار، آنجا که بکار گیری مفاهیم کهنه (NATM) و متد های مشتق از آن)، که در شرایط ساده، محدودیتهای و یا معایب درونی (اینترین سه کو) خود را نشان نمیدادند، نتایجی نومید کننده و یا حتی کاتاستروفیک داشته اند، بما امکان داد تا راه حلی بیابیم (تابلو شماره 1) .
- در این مورد، برای خاتمه بحث، آنچه در فرانسه در طی حفاری تونل تارته گیل (Tartaguille) برای ایجاد خط تازه راه آهن سریع السیر TGV "Mediterranée" ماری-لیون (Marsiglia-Lione) اتفاق افتاد، قابل یاد آوری است.

#### تابلوی شماره 1

بکارگیری اپروچ ا.د.کو.ا.ر.اس (A.DE.CO.-RS) در پروژه و ساختن تونل و هم چنین در تکمیل تونلهائی که پیشروی کاوش با متد های دیگر را رها کرده بودند. در این میان میتوان تونل های زیرین را نام برد:

تولید [متر / روز] متوسط-ما کزیم	رو باره حداکثر [m]	نوع زمین	قطر Ø [m]	سال	تونل
3.2÷2.0	50	Sandy silts	12.20	1988	تاسو (Tasso) - خط راه آهن فلورانس-ارتزو (Arezzo)
3.3÷2.0	50	Hyaloclastites	12.00	1989	تارجا (Targia) - خط راه آهن (Bicocca-siracusa)
2.4÷1.6	100	Scaly clays	12.50	1991	سن ویتاله (San. Vitale) خط راه آهن Caserta - (Foggia)
2.6÷1.6	135	Silty sand and clayey silt	12.20	1993	واستو (Vasto) - خط راه آهن Ancona - Bari
1.9÷1.4	110	Swelling clay	15.00	1996	تارته گیل (Tartaiguille) (TG) (Mediterranée Marsiglia-Lione)
3.3÷2.3	18	Sandy gravelly pyroclastites	20.65	1999	اپ پیا انتیکا " Appia Antica " (خط کمر بندی (G.R.A di Roma)

پیشروی حفاری، با مقطع (ستسیون) سینه کار به مساحت 180 متر مربع، در فوریه سال 1996 که بر اساس معیارهای متد ناتم (NATM) بر نامه ریزی شده بود، تا پایان سپتامبر همان سال با حوادث پی در پی روبرو شد. در این هنگام برای گذار از سازند (فرمسیون) رسی استامپی انت (argile du Stampien) که قویا قابلیت افزایش حجم داشت (با حضور 75% از ماده مونت موریلونیت montmorillonite)، در گیری با مشکلات، با شدت بیشتری، آغاز شد تا جائیکه عملا پیشروی حفاری غیر ممکن گردید.

برای یافتن راه حلی برای رفع مشکلات نامبرده، شرکت اس ان سی اف (S N C F - Societè National du Chemini de Fer) ، در آغاز سال 1997، گروه پژوهشی ای بنام ("Comité de pilotage") متشکل از تکنیسین های راه آهن فرانسه، از کنسر سیوم G.I.E. TARTAIGUILLE، از مشاوران (consulenti) ژنو تکنیک راه آهن کوین (Coyen) و به لی ار (Bellier) و CETU و همچنین از مشاوران ژنو تکنیک کنسر سیوم ترا سول (Terrasol) و سیمکسول (Simecsol) ایجاد کرد. این گروه به نوبه خود با بالا ترین کارشناسان تونل در سطح اروپا مشورت کرده و از آنان دعوت نمود تا پروژه ای بعنوان راه حل برای حفاری قطعه ای از تونل که در سازند رسی (tratta argillosa) جای گرفته بود، با رعایت اصول ایمنی (sicurezza) و با احترام به محدودیتهای زمانی قرارداد (tempi contrattuali) ارائه دهند.

بعد از بررسی پیشنهاد های مختلف که در آن، هیچیک از راه حل ها، نه قادر به تضمین مسئله ایمنی بود و نه میتواند اعتماد صاحب کار (committente) را جلب کند، بویژه در باره زمان اجرای (tempi esecutivi) پروژه، در این هنگام طرح پیشنهادی ایتالیای، که از طرف نگارنده، و بر اساس تجربیات موفق تونل های مشابه، تهیه شده بود و در آن زمان های اجرائی و خرج فرضی ساختن تونل پیش بینی شده بود، مورد قبول شرکت اس ان سی اف (SNCF) قرار گرفت و در ماه مارس 1997 تهیه پروژه اجرائی (la progettazione esecutiva) 860 متر از تونل که هنوز باید ساخته میشد به شرکت پروژه راک سویل (ROCKSOIL S.p.A.) واگذار شد.

فعالیت های حفاری در ماه جولای 1997 بدنبال یک باز بینی رادیکال پروژه و بر مبنای اصول "اد کو- ار اس" (ADECO-RS) با مقطع (ستسیون) کامل سینه کار آغاز شد که در **عکسهای 4 و 5** مشاهده میکنیم. عمل حفاری بالاخره توانست، کم کم با جا افتادن تکنولوژی جدید، بدون انقطاع و با موفقیت پیشرونده ادامه یابد و دارای تولید متوسط استثنائی و منظم گردد (**شکل 35**)، و حتی تولید روزانه به بیش از 1.4 متر، که از طرف پروژه تضمین شده بود، رسید و بدین طریق امکان داده شد که تونل در جولای 1998 خاتمه یابد، یعنی تنها بعد از یکسال از آغاز کار حفاری با ابروچ جدید و ستسیون کامل و با اتمام آن حتی یک ماه ونیم پیش از زمان پیش بینی شده [18]، [19]، [20] .

با در نظر گیری تجربیات مختلف پخته شده در این ده سال آخر [3]، [12]، [13]، [20]، [21]، [23]، [24]، [25]، بر احو می توان تأیید کرد که ابروچ A DECO-RS در پروژه و ساختن تونل، بما امکان میدهد تا، مستقل از تیپ زمین مورد حفاری و شرایط تنشی-تغییر شکل بای (تنسو-دفرماتیو) موجود در آن تولید هائی نسبتا خطی (produzioni pressoché lineari) داشته باشیم.

نتیجه میشود که، اگر در گذشته تنها هنگامی از مکانیزاسیون سخن گفته میشد که در آن ناحیه حفاری شده و یا سینه کار تحت دخالت های ساده

حفاظتی قرار میگرفتند (سپر و فرز- scudi e ferese)، امروزه میتوان حتی در مورد زمینی مشگل و پیچیده که احتیاج به اعمال ما قبل حفاظتی (precontenimento) دارد نیز از مکانیزه شدن سخن گفت:

حفاری در تونلها، صرف نظر از تیپ زمین و اندازه روباره موجود، می تواند، سر انجام، بصورتی صنعتی (قانونمند کردن پیشروی، پیش بینی زمانها و قیمتها) اجراء گردد.

بصورت خلاصه و برای خاتمه بحث می توان گفت که، اپروچ (متد) L'A.DE.CO-RS، با بهره گیری از شناخت ها، ابزار محاسبه و با بکارگیری از مدرن ترین تکنولوژی حمله (شکل 36)، راهنمای ساده ای را در اختیار طراح (progettista) تونل قرار داده است، تا اینکه بتواند، از طریق آن، تونل مورد نظر را، در فضای یکی از سه کاته گوری رفتاری اصلی، جای دهد. برای رسیدن بدین هدف، شرایط پایداری سیستم سینه کار-هسته پیشروی را که از راه پژوهش عمیق تنشی- تغییر شکل یابی (تنسو- دفورماتیو) از راه تئوریک و با ابزار محاسبات ریاضی انجام شده، بعنوان معیار ارزیابی در نظر میگیرد. برای هر قطعه ای از تونل که با رفتار کژدیسی (دفورماتیو) همگون (هموژن) مشخص شده است، طراح (progettista)، بر اساس تیپ رفتار پیش بینی شده، در باره نوع عمل (ما قبل حفاظتی و حفاظتی ساده) که قادر است پدیده های تغییر شکل یابی را تحت کنترل و رژیماسیون قرار داده، و بدنبال آن در باره انتخاب دخالتهای پایدار کننده و ستسیون (مقطع) تیپ طولی و عرضی که هر بار باید برای شرایط موجود مناسب ترین باشد، با استفاده از ابزار مناسب برای تولید اکسیون (عمل) های لازم، تصمیم میگیرد. ضمناً برای هر نوع زمین و شرایط تنسو- دفورماتیو ستسیون (مقطع) های مناسبی در اختیار قرار دارند. قیمتها و زمان اجرای لازم برای هر یک از این ستسیون (مقطع) های تیپ (بصورت هر متر خطی از تونل) بصورتی اتوماتیک تعیین میگردد. از این طریق:

□ دخالتهای پایدارکننده همانند ابزاری ضروری مهمی برای کنترل (رژیماسیون) پدیده های دفورماتیو، یعنی همانند "عناصر استراکتوری- elementi strutturali" به هدف پایداری نهائی ناحیه حفاری (تونل ها متناسب با اینکه به چه اندازه تغییر شکل میدهند کلاسه بندی شده و پرداخت میگردند) ارزیابی میشوند. در این مورد، باید توجه داشت که، در بودجه اقتصادی اجرای یک اثر زیر زمینی، دخالتهای پایدار کننده و تحکیم زمین بعنوان تنها متغیر مهم نسبت به دیگر متغیرهای حفاری و پوشش است، که امروزه هر چه بیشتر، در تمامی تیپ های مختلف زمین، وضعیت یک مقوله ثابت (costante) بخود میگیرد (شکل 37).

□ بر مبنای پروژه ای کامل و قابل اعتماد، سازندگان تونل را، برای ساختن تونل در هر نوع از زمین، بسوی صنعتی کردن فعالیتهای حفاری سوق میدهد؛

□ با امکان برنامه ریزی دخالتها، زمان و خرج های ناشی از ساختن تونل، از ایجاد اختلافات که معمولاً تا چندی پیش در بین ریاست کار (Direzione dei Lavori) و شرکت سازنده تونل، امری عادی بود، جلوگیری میشود.

□ با در نظر گیری یک پارامتر مشترک، همانند معیار، برای تمامی تیپ های مختلف زمین (رفتار تنشی-تغییر شکل یابی سیستم سینه کار- هسته پیشروی) که بسادگی و عملاً در طی حفاری قابل اندازه گیری است، از آنچه که یکی از روشن ترین ضعفهای سیستم کلاسه بندی های گذشته است (مقایسه کلاسه بندی های ژئو مکانیک با جواب تغییر شکل یابی زمین) و تا بحال باعث دامن زدن اختلافات بین ریاست کار و شرکت سازنده تونل میگردد، جلوگیری میشود.

بعلت ویژگیهای مهمی که در بالا یاد آوری شد، اپروچ **A.DE.CO-RS** بسیار مورد توجه قرار گرفت و بزودی بعنوان متدی آلترناتیو و مقرون بصرفه، نسبت به متد های گذشته، شناخته شد. از این نقطه نظر، انتخاب آن برای آماده کردن پروژه پایه ای در مرحله مناقصه و در مرحله بعدی یعنی ساختن (progetto costruttivo) خط راه آهن جدید قطار های سریع السیر (High Speed) بلونیا- فلورانس دارای اهمیت ویژه ای است. این پروژه، که براساسی در لحظه فعلی بزرگترین پروژه تونل سازی در جهان است، دارای طولی حدود 84.5 کیلومتر و با ستسیون (مقطع) 140 متر مربع میباشد و در مسیری قرار دارد که طول کل آن 90



کیلومتر و زمین در بر گیرنده آن بعلت پیچیدگیهایش، که ناشی از تغییر پذیری و غالباً ضعف کیفیت ژئومکانیکی زمین است، شهرت بسیار دارد. با تمام اینکه در بافتی (contesto) مشکل عمل میشود، ساختن این اثر بر مبنای قرار داد **turnkey** “کلید در دست-**chiavi in mano**” بسته شد، که در آن سازنده تونل (costruttore) از آنجائیکه پروژه را بروشنی باندازه کافی کامل و قابل اعتماد دانست، تمامی ریسک های احتمالی، حتی ریسکهای ژئولوژیک را بعهده گرفت. در لحظه فعلی حفاری، که در ماه جولای 1996 آغاز شد، بیش از 30% کل پروژه را طی کرده و پیشروی با ستسیون (مقطع) کامل (piena sezione) بصورت همزمان بر روی 32 سینه کارحفاری، با تولید متوسط 1600 متر در ماه، بصورت تونل تکمیل یافته ادامه دارد [21]، [22]، [23]، [24].

اگر با ضرورت های دیکته شده از طریق برنامه ریزی (pianificazione)، شاید، هنرطراحی، پروژه و ساختن آثار زیر زمینی، بخشی از جذابیت های خود را از دست داده باشد، مطمئناً با ورود اپروچ **ADECO-RS**، بدون اینکه فانتزی طراح (progettista) را محدود و مشروط کند، از نظر کارایی (efficienza) و عملکرد (funzionalità) کیفیتی تازه را بدست داده است.

## فهرست کتابها (Bibliografia)

[1] لوناردی پ. (Lunardi P.) “جنبه های پروژه ای و ساختی (costruttivo) تونل در مرحله اجرای آن در شرایط پیچیده: دخالت های ما قبل حفاظی (precontenimento) ناحیه حفاری شده”. کنفرانس بین المللی در باره بهینه سازی سنگ و خاک در کارهای زیر زمینی” - میلان. 18-20 مارس 1991؛

[2] لوناردی پ. (Lunardi P.) “گالری مکانیکی به پیش میرود” جاده ها (Le Strade) ماه مه 1996؛

[3] لوناردی پ. (Lunardi P.)، بیندی ار (Bindi R.)، فکاراچی (Focaracci A.) “Nouvelles orientation pour le projet e la construction des tunnels dans des terrains meubles. Etudes et expériences sur le préconfinement de le cavité et la préconsolidation du noyau au front” Colloque International “Tunnels et micro-tunnels en terrain meuble”، 7-10 فوریه 1989، پاریس،

[4] پانه (Panet M)

“Le calcul des tunnels par la méthode convergence-confinement”، Ponts et chaussées, 1995;

[5] لومباردي ج (Lombardi G) و آمبرگ دبلیو.آ. (Amberg w.A) ”متد محاسبه الاستو-پلاستیک موقعیت تنشی و دگرديسي در داخل ناحیه های حفاری زیر زمینی” کنگره بین المللی ISRM. دنه ور (Denever)، 1974؛

[5] Lombardi G., Amberg W.A., ”Une méthode de calcul elasto-plastique de l'état de tension et de ineformation autour d'une cavité souterraine”, Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974

[6] لوناردی پ. (Lunardi P.) ”تأثیر سر سختی هسته پیشروی در وضعیت ایمنی تونل مورد حفاری” گالری ها و آثار مهم زیر زمینی. شماره 52 سال 1997 (ایتالیایی و انگلیسی)؛

[6] Lunardi P., ”The influence of the rigidity of the advance core on the safety of tunnel excavation”, Gallerie e grandi opere sotterranee, no 52, 1997 (Italian and English)

[7] لوناردی پ. (Lunardi P.):

”Conception et exécution des tunnels d'après l'analyse des déformation contrôlées , dans les roches et dans les sols”, (Italian and French)

Article in three parts: Quarry and Construction, March 1994, Aprile 1995 or Revue Francaise de Geotechnique, no. 80, 1997, no.84, 1998, no. 86, 1999

(مقاله ای به ایتالیایی و فرانسوی) در سه قسمت Quarry and Construction ماه مارس 1994. مارس 1995. اپریل 1996 و یا مجله فرانسوی ژئو تکنیک شماره 80 سال 1997؛ شماره 84 سال؛ 1998 شماره 86 سال 1999؛

[8] لوناردی پ. (Lunardi P.) ”حفاری تونل از طریق تونل راهنما (cunicolo pilota) ” پلی تکنیک تورینو. اولین سیکل کنفرانس های مکانیک و مهندسی سنگ-تورینو، 25-26 نوامبر 1986؛

[9] کامپانا م. (Campana M.). لوناردی پ. (Lunardi P.) و پاپینی م. (Papini M.):

”Dealing with unexpected geological conditions in underground construction: the pilot tunnel technique”, Acts of 6<sup>th</sup> Eurioean Forum on “Cost Engineering”- Università Bocconi, Milano, 13<sup>th</sup>-14<sup>th</sup> May 1993, vol.1

که فعالیت های ششمین فوروم اروپایی در باره ”Cost Engineering” است- دانشگاه بوکونی میلان 13-14 ام ماه مه 1993 جلد 1؛

[10] لوناردی پ. (Lunardi P.) و .. :

”Soft Ground tunneling in the Milan Metro and Milan Railway link. Case histories”

”Soft Ground Tunnelling Course- انستیتوی مهندسی سیویل لندن 10-12 جولای 1990؛

[11] لوناردی پ. (Lunardi P.)، ”تقویت سینه کار تونل در پروژه زمین های نرم (soft ground) و کنترل آن در طی حفاری” همایش بین المللی در باره ”بسوی دنیایی تازه در حفاری تونل ها” - آکاپولکو (Acapulco) 16-20 ماه مه 1996؛

[11] Lunardi P. et al., ”Tunnel face reinforcement in soft ground design and acontrols during excavatio”, Convegno Internazionale su “Towards New Words in Tunnelling”-Acapulco 16-20 Maggio 1992

[12] لوناردي پ. (Lunardi P.) "لوله هاي فيبر شيشه اي (fibre glass tubes) براي پايدار کردن سينه کار تونل در زمينهاي مشکل کوئزيو (cohesive)", SAIE : سمیناري در باره "بکار گيري فيبر تقوت شده پلاستيکي (FRP) در استراکتورهاي مهندسي سيویل"- بلونیا 22 اکتبر 1993؛

[12] Lunardi P., "Fibreglass tubes to stabilize the face of tunnels in difficult cohesive soils", SAIE: Seminar on "The application of fiber Reinforced Plastics(FRP) in civil structural engineering" – Bologna, 22 Ottobre 1993

[13] لوناردي پ. (Lunardi P.) :

"La stabilite du front de taille dans les ouvrages souterraines en terrain meuble: etudes et experiences sur le renforcement du noyau d'avancement"; Symposium international "renforcement des sols: experimentations en varie grandeur des annes 80"

پاریس، 18 نوامبر 1993

[14] لوناردي پ. (Lunardi P.) ، "تخولات تکنولوژیک در حفاري زیر زميني زمينهاي نرم (meubles) " کمیته مراکش -Grands Barrages- رباط 30 سپتامبر 1993؛

[14] Lunardi P., Evolution des technologies d'escavation en souterrain dans des terrains meubles", Comité Maricain des Grands Barrages – Rabat, 30 Settembre 1993

[15] لوناردي پ. (Lunardi P.) ، فوکاراچي آ (Focaracci A.) :

"Quality Assurance in the Design and Construction of Underground Works"  
International Congress on "Underground Construction in Modern Infrastructure", Stockholm, 7<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> June 1998

"کنگره بين المللي در باره" ساختارهاي زیر زميني در زیر سازه هاي مدرن (Modern infrastructure) ، استکهلم از 7-9 ژوئن (june) 1998 ؛

[16] کوواري ک. (Kovari K.) "در باره وجود ناتم (NATM) ، مفاهيم اشتباه آمیز در وراي متد ناتم (NATM) " ، نشریه Tunnel شماره 1 ، سال 1994 (انگلیسی و آلمانی) و یا نشریه تونل و آثار بزرگ زیر زميني (Gallerie e Grandi opere sotterranee) شماره 46 ، سال 1995 (ایتالیایی و انگلیسی) ؛

[16] Kovari K., "On the existence of NATM, Erroneus Concepts behind NATM", Tunnel, no. 1, Year 1994 (English an German), or Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n. 46, 1995 (Italian and English).

[17] لوناردي پ. (Lunardi P.) :

"Convergence-confinement ou extrusion-préconfinement ?", Colloque "Mécanique e Géotechnique", laboratoire de mecanique des Solides-École Polytechnique, Paris 19 mai 1998

پاریس 19 مه 1998

[18] آندره د. (Andre D.) ، داردارد ب. (Dardard B.) ، بووارد آ. (Bouvard A.) ، کارمس ج. (Carmes J.) ، "گذر از سنگهاي رسي (des argilles) تونل تارته گیل (Tartaiguille) " ، تونل ها و حفاري هاي زیر زميني، شماره 153 مه-ژوئن سال 1999 ؛

[18] Andre D., Dardard B., Bouvard A., Carmes J., "La traversée des argiles du tunnel de Trataiguille", Tunnels et ouvrages souterrains, no. 153, May-June 1999

[19] لوناردي پ. (Lunardi P.) "تونل تار ته گيل (Tartaguille) ويا بكارگيري اپروج **A.DE.CO.-RS** در ساختن يگ تونل "غير ممکن" ، نوشته شده در گالري و آثار بزرگ زير زميني (Gallerie e grandi opere (sotterranee)، شماره 58، آگوست 1999 (ايتاليائي و انگليسي)؛

[20] مارتل ج. (Martel J.) روجون م. (Roujon M.) ، مايکل د. (Michel D.) ، "TGV مدیترانه - تونل تارته گیل: متد سستیون (مقطع) کامل" در ادامه کنفرانس بین المللی در باره " فعالیتهای زیر زمینی: آمال و واقعیت ها " پاریس 25-28 اکتبر 1999؛

[20] Martel J., Roujon M., Michel D., "TGV Mediterraneèe – Tunnel de Tartaguille: mètode plein section", Proceedings of the International Conference on "Underground works:ambitions and realities", Paris, 25<sup>th</sup>-28<sup>th</sup> October 1999

[21] لوناردي پ. (Lunardi P.) "اتصال بلونیا-فلورانس از طريق راه آهن سريع السیر. جنبه هاي پروژه و ساختن آثار زير زميني" گالري ها و آثار بزرگ زير زميني (Gallerie e grandi opere in sotterraneo)، شماره 54، سال 1998 (ايتاليائي و انگليسي)؛

[21] Lunardi P., "The Bologna to Filorence high speed rail connecion. Design and construction aspects of the underground works", Gallerie e grandi opere in sotterraneo, no.54, 1998(Italian and English)

[22] لوناردي پ. (Lunardi P.) "از فلورانس تا بلونیا با قطار سريع السیر (High speed) " منتشره در، Tunnels and Tunneling International، آپریل 1999.

[22] "Florence to Bologna at high speed", Tunnels and Tunnelling International, April 1999

[23] Lunardi P., "Progress report on the underground works on the Bologna to Florence high speed railway line", Tunnel, n. 8, 2000

[24] Lunardi P., "Tunnelling under the Mugello motor raicing circuit incorporating the ADECO-RS approach", Tunnel, n. 8, 2000

[25] Lunardi P., "Tunnelling under the Via Appia Antica in Rome", Tunnels&Tunnelling International, April 2000

**ROCKSOIL Spa**  
Piazza San Marco 1  
20121 Milano  
Tel. +39 02.65.54.323  
Fax +39 02.65.97.021  
[WWW.rocksoil.com](http://WWW.rocksoil.com)

## واژه ها و معادل احتمالی فارسی آن ویژه تونل

stati : وضعیت های تنشی:	<input type="checkbox"/>	fronte di scavo : سینه کار	<input type="checkbox"/>
tensionali		scavo aperto : ترانشه	<input type="checkbox"/>
compatibilità : همخوانی:	<input type="checkbox"/>	rocce : سنگهای رسوبی	<input type="checkbox"/>
formazione : فرماسیون	<input type="checkbox"/>	sedimentarie	
opere : سازه های زیر زمینی:	<input type="checkbox"/>	copertura : ارتفاع روباره	<input type="checkbox"/>
sotterranee		galleria d'accesso : تونل ورودی	<input type="checkbox"/>
زاویه اصطکاک داخلی:	<input type="checkbox"/>	imbocco : دهانه	<input type="checkbox"/>
angolo d'attrito interno		• campionatura : نمونه برداری	<input type="checkbox"/>
مقاومت نسبت به فشار تک محوری:	<input type="checkbox"/>	perforazione : گمانه زنی	<input type="checkbox"/>
la resistenza alla pressione monoassiale (Mpa)		zona di costruzione : ساختگاه	<input type="checkbox"/>
(		spritz beton : بتون پاشی	<input type="checkbox"/>
مقاومت نسبت به فشار تک محوری اشباع:	<input type="checkbox"/>	iniezione : بتون ریزی تزریقی	<input type="checkbox"/>
la resistenza alla pressione monoassiale )		cementizia	
saturation (Mpa)		analisi del : رفتار سنجی	<input type="checkbox"/>
وزن مخصوص : peso specifico	<input type="checkbox"/>	comportamento	
مدول الاستیک : modulo elastico	<input type="checkbox"/>	convergenza : همگرایی سنجی	<input type="checkbox"/>
چسبندگی : viscosità (Mpa)	<input type="checkbox"/>	estensimetro : اکسنسومتر	<input type="checkbox"/>
فاکتور ایمنی : fattore di	<input type="checkbox"/>	tubo d'iniezione : لوله تزریق	<input type="checkbox"/>
coefficiente , sicurezza		pompa d'iniezione : پمپ تزریق	<input type="checkbox"/>
مدل الاستیک /مدول	<input type="checkbox"/>	rocce argillose : کانی های رسی	<input type="checkbox"/>
الاستیسیته : modulo elastico : Kg/cm <sup>2</sup>		arco rovescio : قوس معکوس	<input type="checkbox"/>
شاتکریت : calcestruzzo	<input type="checkbox"/>	terreni argillosi : مناطق آماسی	<input type="checkbox"/>
مقاومت کششی مستقیم :	<input type="checkbox"/>	المان های مورد استفاده :	<input type="checkbox"/>
ot resistenza a trazione diretta Mpa		elementi in uso	
ضریب پواسون : modulo di	<input type="checkbox"/>	materiale di scavo : مواد حفاری	<input type="checkbox"/>
Poisson		operatore : اپراتور	<input type="checkbox"/>
راسیونالیزاسیون :	<input type="checkbox"/>	cutter head : سرمته دورانی	<input type="checkbox"/>
razionalizzazione		سیستم حرکتی رو به جلو :	<input type="checkbox"/>
مکانیزاسیون :	<input type="checkbox"/>	drive	
meccanizzazione		روش انجماد زمین :	<input type="checkbox"/>
گسل : faglia	<input type="checkbox"/>	congelamento	
شیب سنج : inclinometro	<input type="checkbox"/>		
کشیدگی سنج : estensimetro	<input type="checkbox"/>	piena full face : تمام مقطع	<input type="checkbox"/>
فایبر گلاس : vetroresina	<input type="checkbox"/>	sezione,	
تنش نرمال : tensione normale	<input type="checkbox"/>	تنش : tensione	<input type="checkbox"/>
پیتزو مترو (اندازه گیری سطح آب) : piezometro	<input type="checkbox"/>	نا پیوستگی : discontinuità	<input type="checkbox"/>
سلول فشار : cella di pressione	<input type="checkbox"/>	تغییر شکل یا بی :	<input type="checkbox"/>
لوژون : lougen	<input type="checkbox"/>	deformabilità	
		• جریان تنش های منحرف	
پروژه های توسعه ای :	<input type="checkbox"/>	il flusso delle tensioni deviate : شده	
progetti di sviluppo		viscosità : ویسکوزیته	<input type="checkbox"/>

- sovratensione: فوق تنشي
- coazione: كواتسيون
- raggio d'influenza: شعاع تائير
- جريان فشارهاي منحرف شده
- flusso delle tensioni deviate:
- impirico: منطق تجربي
- generalizzazione: تعميم
- complesso; complicato: بخرنج
- astratto: مجرد: آبستره
- concreto: مشخص
- impirico: استقراء
- تحولات تدريجي و نا مشهود:
- evoluzione
- tensoriale: تنسوري
- vettoriale: وكتوري
- ipotetica: فرضي
- legame: پيوند
- stretto: تنگاتنگ
- soggettivo: ذهني
- oggettivo: عيني
- تونل راهنما، حفره
- cunicolo pilota: راهنما
- valutazione: ارزيابي
- modalità: روش
- regimare: تنظيم كردن

## پايان

- efficacia: توانمندي،
- verifica: كنترل
- dimostrazione: اثبات
- punto di riferimento: نقطه عطف
- punto di vista: نقطه نظر
- برنامه ريزي:
- programmazione
- في البدايه سازي:
- improvvisazione
- metodo: اسلوب
- appalto: قرارداد، مناقصه
- commessa: پيمانكار
- lavori: كارهاي عمراني
- pubblici

- روش ثقلی: metodi gravitativi
- آزمایشها: prove
- كوئزيون: coesione
- پيچ هاي اکتيو - Bulloni
- attivi
- آنکوراژ نقطه اي:
- ancoraggio puntuale
- ريختن: gettare
- بر آمدكي سينه كار، شكم
- دادن: estrusione
- رس ليموز - argillo limoso
- شنهاي ليموز - sabbie limose
- اشباع: saturo
- ريتم: cadenze
- ثابت و مداوم: sostenuta e
- costante
- ريزش: crollo
- مقدمه. زمينه، پيشخوان:
- anticamera
- تنگاتنگ: stretto
- برد تائير، شعاع تائير:
- raggio d'influenza
- استخراج: estrazione
- غلظت، دانسيته: densità
- تزريق تحکيمي: iniezione di
- consolidamento
- تحليل بر گشي: analisi retrosa
- حيطه بينه‌اي: dominio
- infinito
- پيش تزريق: pre-grouting
- فرماسيون رسي: formazione
- argillosa
- آزمایش برش مستقيم: prove
- di taglio diretto
- کژ ديسي، دفرماسيون:
- deformazione
- زير ساز: fondazione
- ساختار، استراكتور: struttura
- آنکوراژ نقطه اي:
- ancoraggio puntuale
- پيچ هاي اکتيو: bulloni
- attivi
- دخالتها: interventi
- پيچ هاي شعاع: bulloni radiali
- متر خطي: metro lineare
- استحکام: consolidamento
- دخالتهاي تثبيت کننده:
- interventi di stabilizzazione
- دخالتهاي تحکيمي: interventi di
- consolidamento
- ورقه اتي: laminati
- تکتونيک: tettonica
- نشانه ها: manifestazioni
- آرمه: armata
- ناپيوسته: discontinuo

- ministero : وزارت نیرو  
dell'Energia
  - priorità : اولویت
  - unità di misura : واحد سنجش
  - schema : شما
  - diagramma : نمودار
-