

Cod.  
R.6

# CONCORSO PROGETTAZIONE SISTEMA TRAM PALERMO - II FASE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ



Città di Palermo

AREA TECNICA DELLA  
RIQUALIFICAZIONE URBANA E DELLE  
INFRASTRUTTURE

## ELABORATO

Programma dettagliato delle indagini:  
Archeologiche; Ambientali;  
Topografiche; Geologiche; Geotecniche;  
Idrologiche-Idrauliche; Tecnologiche per  
censimento sottoservizi

**data:** marzo 2018

**PROGRAMMA DETTAGLIATO DELLE INDAGINI: ARCHEOLOGICHE, AMBIENTALI, TOPOGRAFICHE, GEOLOGICHE, GEOTECNICHE, IDROGEOLOGICHE-IDRAULICHE, TECNOLOGIE PER IL CENSIMENTO DEI SOTTOSERVIZI****A. PREMESSE**

Il presente elaborato descrive il programma dettagliato tecnico operativo delle indagini necessarie per la redazione dello studio di fattibilità dell'intero e del progetto definitivo del primo stralcio.

Per la descrizione delle opere e dei tracciati si farà riferimento allo elaborato R.1 Relazione illustrativa delle ragioni della soluzione proposta e motivazione delle scelte trasportistiche, architettoniche di mobilità urbana e tecniche di progetto e, in particolare agli elaborati grafici della serie Tav. 17 : 33

**B. PROGRAMMA DETTAGLIATO DELLE INDAGINI ARCHEOLOGICHE****Introduzione**

In materia di verifica preventiva dell'interesse archeologico sulle aree interessate dalle opere da attuare, anche l'infrastruttura in progetto deve essere sottoposta all'attuazione del D.Lgs. n. 50/2016 e nello specifico all'applicazione dell'art. 25. Tale verifica preventiva consente di accertare, prima di iniziare i lavori, la sussistenza di giacimenti archeologici ancora conservati nel sottosuolo e di evitarne la distruzione con la realizzazione delle opere in progetto. L'applicazione dell'iter procedurale previsto dall'art. 25 permette alla committenza di opere pubbliche di conoscere preventivamente il rischio archeologico dell'area su cui è in progetto l'intervento, e di prevedere in conseguenza eventuali variazioni progettuali, difficilmente realizzabili in corso d'opera, in attuazione del disposto dell'art. 20 del D.Lgs. 42/2004 e smi: "i beni culturali non possono essere distrutti, deteriorati, danneggiati o adibiti ad usi non compatibili con il loro carattere storico o artistico oppure tali da recare pregiudizio alla loro conservazione".

Il comprensorio di Palermo, data la sua configurazione di palinsesto storico-archeologico multistratificato, sia negli strati profondi del suolo che in quelli più superficiali può ancora conservare evidenze archeologiche più o meno estese, di carattere puntiforme come areale e con riferimento a svariate tipologie di beni archeologici. La diffusa e complessa stratificazione di culture e manufatti che contraddistingue quasi tutto il territorio comunale di Palermo, è stata tenuta in considerazione all'interno del quadro tecnico ed economico della progettazione, sia per sostenere e attuare le misure idonee qualora dovesse rendersi necessario procedere con alternative di tracciato o anche solo tipologiche, sia per avvalersi di una competente e costante assistenza archeologica in cantiere per siti significativi, per particolari lavorazioni e/o per interventi strutturali.

L'infrastruttura tramviaria in progetto avrà necessariamente un impatto più o meno invasivo sia sul soprassuolo che sul sottosuolo, e potrà incidere anche sulla conservazione delle evidenze storico-archeologiche già note e soprattutto di quelle ancora potenzialmente presenti nel sottosuolo.

Lo Studio Archeologico nella fase preliminare di progettazione deve dunque fornire indicazioni atte a ridurre il grado di incertezza e a definire il livello di rischio di interferenza con preesistenze archeologiche del territorio al momento di realizzazione dell'opera in progetto.

In quest'ambito, procedendo ad indagini d'archivio e allo spoglio della letteratura archeologica, si individueranno le emergenze archeologiche già note e sottoposte a tutela, nonché quelle note soltanto in bibliografia.

Si redigerà in formato cartaceo e digitale, in conformità con gli standard ministeriali in uso al momento della redazione, una relazione generale, cioè un elaborato descrittivo in cui saranno riportati la documentazione e i risultati delle attività conoscitive svolte sul territorio (lettura geomorfologica del territorio, acquisizione dei dati di archivio e bibliografici, analisi fotointerpretativa) e la descrizione del rischio archeologico.

Se dall'esame della documentazione si individua un interesse archeologico delle aree interessate dai lavori, diverrà necessario attivare la conseguente fase di indagine integrativa della progettazione preliminare, che consiste nell'effettuazione di indagini geognostiche e di saggi archeologici a campione.

Mentre per le indagini indirette si valuterà la metodologia da adottare (prospezioni geofisiche, geochimiche,

etc.) in base al contesto territoriale, per quelle dirette saranno da privilegiare i sondaggi archeologici, la cui effettuazione sarà affidata preferibilmente ai soggetti specialisti operanti già nella fase preliminare (vedi art. 25, co. 1 del D.Lgs. 50/2016)

Nel caso di riscontri di "elementi archeologicamente significativi" dopo questa prima fase di verifica della presenza e della consistenza del deposito archeologico, si passerà ad un approfondimento delle indagini (scavi in estensione) con la seconda fase integrativa della progettazione definitiva ed esecutiva delle opere, finalizzata a chiarire la natura e la complessità del deposito stesso.

Per ogni tratta in progetto pertinente all'ampliamento del sistema tramviario della città si evidenzieranno pertanto i settori con un rischio archeologico elevato, medio-alto o basso in base alla prossimità del percorso tramviario rispetto ad aree sottoposte a vincolo archeologico diretto o a zone di interesse archeologico già sottoposte a tutela specifica dalla Soprintendenza BB.CC.AA (Dlgs 42/2004, art. 142 – lettera m) o altrimenti a settori soltanto genericamente segnalati dalla letteratura archeologica, ma mai puntualmente indagati.

Tra l'altro, alla luce delle recenti indagini condotte in diverse zone cittadine, al di fuori del circuito murario cinquecentesco, le aree di interesse archeologico sono state in parte rimodulate e in parte inserite ex-novo rispetto alla nota riguardante le "Perimetrazioni aree di interesse archeologico per il PRG di Palermo" (prot. n. 1732 del 09.04.2002).

Le modalità di intervento andranno concordate congiuntamente con la Soprintendenza e, in ogni caso, dovranno includere il parere preventivo preliminare della stessa, in tutti i casi di lavori di scavo e di movimento terra.

## LE EVIDENZE ARCHEOLOGICHE

Le nuove tratte previste nell'intervento progettuale in oggetto permetteranno di collegare le estreme periferie sud ed est tra loro e queste ultime al centro della Città.

Il presente studio archeologico ha per oggetto proprio questi settori non raggiunti finora dalla rete tramviaria attivata: il settore delle periferie sud e sud-est della città (Tratte C e D), il settore orientale e nord-orientale del Centro Storico della città ricadente all'interno del circuito murario medievale (Tratte A ed F) e l'estrema periferia settentrionale e nord-occidentale del centro urbano (Tratte A e B) fino alle borgate di Mondello (Tratta E) e di Sferracavallo (Tratta G).

L'analisi e la sintesi di tutti i dati acquisiti nello Studio Archeologico attuato hanno consentito l'individuazione di aree di interesse archeologico in corrispondenza dell'opera in progetto.

Si provvederà ad elencarle qui di seguito attenendosi al percorso di ogni singola tratta.

## TRATTA "A"

( Km 10,830 (A/R), dalla Via Balsamo al Viale Croce Rossa

### A.1. Via Roma, Palazzo Ferrovie

Nel 1930, durante gli sbancamenti per la costruzione dell'edificio, si segnala il rinvenimento di una fitta rete di pozzi medievali ed anche di una tomba genericamente definita a "forno" con tre celle, i cui corredi andarono dispersi, ma in cui si segnalava la presenza di uno scheletro dipinto con ocra rossa.

Mannino ipotizza, a tal proposito, che non si tratti di una tomba isolata ma di una necropoli che si prolunga più a Nord a raggiungere l'area di Via Maestri d'Acqua.

Contestualmente alla costruzione del Palazzo delle Ferrovie sono segnalati anche resti "sporadici" di età romana e tardo-punica.

### A.2. Via Roma-Via Divisi

Nell'angolo fra via Roma e via Divisi, La Duca segnalava: "...durante lo sbancamento per la costruzione dei magazzini Standa vennero alla luce alcune tombe a "forno". Anche in tal caso i corredi andarono dispersi.

Proprio in via Divisi risulta particolarmente interessante il rinvenimento, avvenuto nel 1886 al di sotto del Palazzo

Linguaglossa , di una fossa di m 2,20 x 0,45 scavata nella roccia e con copertura a lastroni. La tomba, secondo quanto riferito dalla stampa dell'epoca, conteneva "quattro scheletri di proporzioni relativamente grandi, tre vasetti e due lacrimatoi".

Altre segnalazioni della stessa epoca riferiscono di "sepolcri antichi" rinvenuti lungo il vicino asse via Bosco- via Lungarini.

Il rinvenimento di Palazzo Linguaglossa, se associato alla recente scoperta di almeno sei sepolture con corredi databili in età ellenistico-romana (III-II sec. a.C.) al di sotto di tre ambienti seminterrati di Palazzo Scavuzzo Trigona Sant'Elia, in Piazza Rivoluzione, a meno di 300 m dal luogo del ritrovamento ottocentesco, potrebbe gettare nuova luce sul problema della destinazione di quest'area in età romana.

Questa serie di segnalazioni di rinvenimenti "sporadici" a partire dalla fine dell'800 - seppur imprecise in relazione alla tipologia e alla cronologia delle tombe rinvenute -, unite ai risultati delle indagini più recenti, possono far ipotizzare che la localizzazione della necropoli di età romano-repubblicana ricadesse proprio in questa fascia di territorio posta a SE dell'abitato, immediatamente al di là del Fiume Kemonia che, in questa zona, formava profonde anse adatte all'attracco.

### **A.3. Via Roma - Via Vittorio Emanuele**

In corrispondenza dell'incrocio tra Via Roma e l'asse viario principale della città medievale e moderna (il c.d. Cassaro) che la percorreva in tutta la sua lunghezza, si estende l'area posta sul margine orientale della città punica che un tempo qui si affacciava direttamente sul mare.

A poca distanza da qui, in via degli Schioppettieri è ancora visibile un significativo spezzone delle fortificazioni puniche, inglobato nelle costruzioni del Complesso di Santa Caterina. Recenti indagini all'interno del retrostante Palazzo Bellini hanno consentito di scoprire un ulteriore tratto di tale cinta muraria.

### **A.4. Via Roma - Via Cavour**

Nel suburbio nord-est della città antica, guadagnato all'espansione urbana a partire dal XVI secolo, tradizionalmente all'età tardoromana e bizantina è stata assegnata la vasta area subdiale, caratterizzata da formae (tombe a fossa) scavate nel banco roccioso, di via Cavour/via Crispi. Mai sistematicamente indagata e nota solo dalle segnalazioni del Salinas alla fine dell'Ottocento, è indiziata sotto il profilo cronologico dall'unico reperto mobile a suo tempo rintracciato, l'epitaffio del mercante di lini Petrus, originario di Alessandria d'Egitto e deceduto a Palermo nell'anno 602. Gli interventi della Soprintendenza di Palermo hanno fatto ipotizzare una continuità nell'uso funerario di quest'area fino alla prima età islamica.

Con l'affermarsi del Cristianesimo, infatti, si abbandona il nucleo necropolico più antico della città punico-romana attivo sin dal VII sec. a.C. e che si estende da piazza Indipendenza a La Cuba e da corso Pisani alle vie Cappuccini-Danisinni. Per i periodi successivi l'indagine deve spostarsi ai complessi di carattere religioso e sepolcrale del primo Cristianesimo del Transkemonia e del Transpapireto. Qui aveva destinazione funeraria proprio la zona lungo l'odierna via Cavour da palazzo Galati al mare, cioè sino a piazza XIII Vittime, come indicato dalla lapide di Petrus Alexandrinus.

### **A.5. Via Libertà-Viale Duca della Verdura. Giardino inglese**

Nell'angolo nord-ovest del Giardino Inglese è stata segnalata da G. Mannino la presenza di un pozzo che attingeva alla falda freatica che giunge fino al mare, presso la Stazione Porto. Non si può fornire una precisa datazione, ma le analogie con il pozzo di Piazza Edison e il fatto che attingano entrambi alla stessa falda hanno fatto supporre che sia da ascrivere ad età antica.

Negli anni Trenta del Novecento, inoltre, durante gli scavi del canale di Passo di Rigano, che attraversava la zona dell'attuale via Libertà, verso il Giardino Inglese si trovò una grande quantità di ossa fossili riferibile ad una specie di elefante di notevoli dimensioni (*Elephas antiquus leonardii*) esclusiva della Sicilia, che qui visse nel Pleistocene superiore, ed inoltre di una specie di elefante di dimensioni ridotte (*Elephas mnaidriensis*), di m 1,90 di altezza. Le datazioni assolute assegnano a questi fossili un'età media di circa 170.000 anni; quelle più recenti posticipano la

datazione a circa 120.000 anni.

A.6. Via Libertà-Via Gargallo.

Dall’Ottocento l’area in questione fu soggetta ad un’intensa attività edilizia, durante la quale vennero alla luce le testimonianze di abbondanti ossa fossili riferibili ad elefanti risalenti al Pleistocene superiore. In particolare, si tratta di ritrovamenti di resti fossili riferibili ad una specie di elefante (*Elephas mnaidriensis*) di ridotte dimensioni (m 1,90 di altezza) in via N. Gargallo, risalenti a 120.000 anni fa circa.

### A.7. Piazza Edison

In piazza Edison si è rinvenuto un pozzo, scavato nel banco di calcarenite. Esso presenta una imboccatura quadrata di circa m 12 di lato; lungo le pareti è intagliata nella roccia una scalinata di quattro rampe per complessivi un centinaio di gradini, larga circa m 1,50, che restringe la sezione della cavità a circa m. 8,50 per lato. Alla profondità di m 21, di fronte all’ultima rampa si apre una galleria, larga circa m 1,50 ed alta m 2. Al termine della scala è una sorta di ballatoio largo circa un metro che restringe la sezione del pozzo a circa m 5,50 per lato; la cavità, con la nuova sezione, prosegue ancora per m 2,50 raggiungendo una falda freatica che corre verso il mare cui giunge presso la Stazione Porto.

All’interno del pozzo furono rinvenute delle iscrizioni, erroneamente ritenute sicane, poi identificate come iscrizioni in caratteri neopunici del II secolo a.C. ed oltre. Secondo G. Mannino, la cavità sarebbe stata scavata per attingere acqua dalla falda freatica. Inoltre, lo scavo di suddetto pozzo ha intercettato una preesistente cavità ipogeica di una certa ampiezza, che, ponendosi nell’angolo sud-ovest del monumento, si può notare come si sviluppasse nell’angolo opposto immediatamente sotto il piano di calpestio della piazza; infine, una parte dell’ambiente è stata distrutta e la sezione rimanente è rimasta chiusa con grossi conci. Non è da escludere una datazione del complesso ipogeico o almeno di una sua parte anche ad età moderna.

### A.8. Piazza Leoni

La localizzazione puntuale del sito non è oggi possibile. Antonio Salinas lo ha ubicato “nella piazza di fronte l’ingresso della Favorita”, cioè fra le odierne Piazza Leoni e via dell’Artigliere. Nel 1884 furono acquistati dal Museo Nazionale di Palermo alcune forme vascolari e due “idoletti” con busto a losanga rinvenuti in una tomba durante lavori presso la Casa Frangipane, sul finire dell’Ottocento.

Nel corso di questi lavori si recuperarono oltre ai due singolari idoletti fittili, due rocchetti, un boccaletto monoansato, una scodellina con tracce di ocra rossa ed un vasetto globulare biansato. Il tutto si potrebbe inquadrare nella Cultura della Conca d’Oro con elementi di affinità con la facies di Serrafferlicchio, quindi riferire all’eneolitico medio (metà del III millennio a.C.), ma alcune piramidette fittili di dubbia provenienza pubblicate, insieme ai suddetti reperti, dalla Bovio Marconi potrebbero anche ascrivere all’avanzata età del Ferro.

Il rinvenimento di queste tombe fa comunque supporre la presenza di un contiguo insediamento coevo.

### TRATTA “B”

(Km 1,330 (A/R), dalla Stazione FF.SS. Notarbartolo alla Via Duca della Verdura)

Il breve tracciato viario si snoda lungo via Duca della Verdura, iniziando ad Est in corrispondenza dell’incrocio con via della Libertà, laddove poc’anzi sono state segnalate due presenze archeologiche presso il contiguo Giardino Inglese (vd. A.5). L’unico rinvenimento degno di nota nelle immediate vicinanze è un deposito paleontologico.

### B.9. Via Morello

Dall’800 in poi l’area fu soggetta ad un’intensa attività edilizia, durante la quale vennero alla luce consistenti testimonianze di ossa fossili riferibili ad elefanti nani risalenti al Pleistocene superiore (120.000 anni fa ca.). In particolare, si tratta di ritrovamenti di resti fossili riferibili all’*Elephas mnaidriensis* provenienti genericamente da via N. Morello.

**TRATTA "C"**

(km 7,490 (A/R), lungo Viale della Regione Siciliana, Via Basile e corso Tukory sino piazza Giulio Cesare)

**C. 10. Via Brasa**

Una significativa, seppur generica, segnalazione in merito al rinvenimento di tombe preistoriche a grotticella simili a quelle segnalate e rinvenute poco più ad Ovest presso la vicina area di interesse archeologico della Fossa della Garofala e del torrente Cannizzaro, è quella del La Duca nel 1964: "Altre tombe del medesimo tipo (a "forno") ci risulta che sono state rinvenute nel corso dei lavori di costruzione degli edifici universitari, sulla destra di via Brasa".

**C. 11. Torrente Cannizzaro**

Lungo le sponde calcarenitiche del torrente Cannizzaro, in un'area situata a circa 300 m dalla circonvallazione, dove il letto è profondo meno di un paio di metri, il Mannino ha segnalato la presenza non solo di molte cavità, tutte artificiali, di età storica, ma anche di una tomba preistorica a "grotticella", a pianta irregolare, molto ampia. Nel deposito esterno alla tomba recuperò, oltre a resti di ossa umane, anche parecchi frammenti fittili, alcuni con decorazione campaniforme.

**C. 12. Corso Calatafimi**

Nei pressi del raccordo tra Corso Calatafimi e Viale della Regione Siciliana è da segnalare la presenza di un qanat sottoposto a vincolo diretto (D.A. n. 7600 del 09.09.1996), che fa parte di quella densa rete di cunicoli sotterranei risalenti alla dominazione araba presenti sotto la zona di Via Nave/Corso Calatafimi, funzionali ad intercettare l'acqua delle sorgenti e condurla, tramite un abile gioco di pendenze, fino alle zone abitate e coltivate.

**TRATTA "D"**

(km 7,658 (A/R), dalla Stazione FF.SS. Orleans a Bonagia)

**D. 13. Mura medievali e Porta Mazara**

A Nord-Est di Corso Re Ruggero dove ha inizio il percorso tramviario della tratta in questione correvano le mura medievali realizzate negli anni di Ruggero II (1112-1154), ancora oggi visibili, poco più a Nord, sul lato ovest del complesso di S. Giovanni degli Eremiti ed anche sotto il fronte orientale dell'oratorio di S. Mercurio, nel tratto attualmente compreso all'interno del cortile della chiesa di S. Maria dell'Itria. Nel corso dei lavori di restauro di questa chiesa nel 2015, l'esecuzione di due saggi ha permesso di indagare per la prima volta i depositi stratigrafici di quest'area della città, che nel Medioevo costituiva il sobborgo meridionale in cui scorreva il Kemonia. Le indagini archeologiche, condotte fino ad una profondità di 3,20 m ca., hanno rivelato però che i livelli di occupazione di età islamica e normanna in questa zona si trovavano ben al di sotto delle attuali quote di calpestio. La presenza di strutture murarie in questo punto è stata comunque utile per affermare che in età medievale da qui non poteva transitare il torrente, verosimilmente già in epoca araba irreggimentato in un canale.

Nel cortile dell'ex monastero dei Benedettini Bianchi, che sorse sul sito già occupato dalla Chiesa di San Giorgio in Kemonia a Sud della Chiesa di San Giovanni degli Eremiti, in occasione di alcuni lavori di restauro del 1991 la Soprintendenza ai BB. CC. AA, di Palermo ha recuperato lo scarico della fornace di un vasaio specializzato nella produzione di ceramiche fini da mensa, attiva fino alla prima metà del XII sec. d.C.

Poco più Sud si conservano ancora oggi l'altro tratto murario di quella che è la seconda cinta muraria di Palermo, presso vicolo Benedettini e i resti di Porta Mazara. La cinta muraria prosegue poi in senso Est-Ovest e si conserva parzialmente nella successiva via Mura di Montalto, dove risultano ben leggibili tre fasi costruttive.

**TRATTA "E"**

(Km 23,060 (A/R), dalla Viale Croce Rossa alla località Balneare di Mondello)

#### **E. 14. Piana dei Colli - Briuccia**

Lungo il primo settore di questa tratta tra via De Gasperi e Viale Strasburgo si estende una zona ricca nel sottosuolo di fresche acque freatiche sotterranee e di conseguenza occupata da una fitta rete di gallerie, pozzi e qanat. Su Via dei Nebrodi, all'interno della vasta tenuta agricola di Villa Napoli Resuttano del principe di Bonfornello, vicino la casina di caccia (XVIII secolo) che in seguito diverrà l'attuale Villa Barbera e Villa Barbera è stato rinvenuto un pozzo “a cannocchiale” (a) simile per architettura e schema idrogeologico al pozzo “punico” di piazza Edison. Un ampio qanat (b) è presente nel sottosuolo a poca distanza dal lato settentrionale di via A. De Gasperi.

#### **E.15. Via dell'Olimpo - Scalea**

Un altro settore della Piana di Palermo con un'alta concentrazione di qanat e ingruttati, tutti sottoposti a tutela diretta, è quello di c.da Scalea presso Partanna. Uno di questi sottosta al primo tratto di Via dell'Olimpo.

#### **TRATTA “F”**

(Km 9,660 (A/R), dalla Stazione FF.SS. alla Via Duca della Verdura)

#### **F.16. Corso dei Mille**

In occasione dei lavori per la realizzazione della rete tramviaria di Palermo tra settembre 2013 e giugno 2015 lungo Corso dei Mille, nei numerosi saggi aperti sono stati messi in luce molti ambienti delimitati da muri a secco in pietrame e in mattoni di argilla cruda, databili, sulla base dei materiali ceramici rinvenuti, nel corso della fase islamica (X-XI secolo). Ciò attesta la grande estensione della città di Balarm di periodo islamico, anche oltre i limiti successivamente definiti dai Normanni.

È stata inoltre localizzata una necropoli e sono state esplorate una trentina di tombe che spesso sigillavano le strutture di fase islamica. Le sepolture, in fossa, sono allineate, non sovrapposte, e orientate in senso E/O con testa ad O; in 23 casi l'inumato – deposto entro cassa lignea – è in posizione supina con gli arti inferiori distesi e gli arti superiori lungo il corpo o sul pube. Due tombe più “monumentali” presentano una fossa in parte scavata nel banco roccioso coperta da lastre litiche poste a doppio spiovente. Quattro inumati in piena terra, infine, sono stati deposti in decubito laterale destro e sono rivolti verso SE, secondo il rituale musulmano. Il corredo è presente in un'unica sepoltura ed è costituito da un “flacone per profumo”, in vetro bianco, blu cobalto e sfoglie di oro, di produzione siriana o più probabilmente egiziana, databile al XII-XIII secolo. In questa zona, le fonti antiche collocano anche il cimitero ebraico.

I livelli degli ambienti islamici e delle sepolture sono sigillati da una strada in terra battuta molto compatta e da uno strato di drenaggio con ciottoli e frammenti ceramici databili alla fine del XII – prima metà del XIII secolo (età sveva), che attesta, probabilmente, la strada di uscita da Palermo verso Sud, in direzione del fiume Oreto, il cui tracciato ha avuto continuità fino ai nostri giorni e che coincide con l'odierno Corso dei Mille.

#### **F. 17. Via Archirafi - Villa Giulia**

Segnalazioni riferibili a rinvenimenti “sporadici” di età romana e a tombe ad inumazione sono ubicate presso via Archirafi e l'Orto Botanico. È il De Gregorio che segnala il rinvenimento nel 1921 in località Vigna Gallo di “tardi resti sepolcrali”, probabilmente semplici tombe ad inumazione, forse ascrivibili ad un vicino insediamento suburbano a carattere agricolo e marinaro.

#### **F. 18. Foro Italico Umberto I**

Nel 2015, in occasione dei lavori per la posa delle nuove condutture fognarie, sono stati rintracciati i limiti orientali dei basamenti dei bastioni cinquecenteschi della fortificazione di Palermo nord-orientale lato mare, demoliti nel XVIII secolo e di cui non era nota l'esatta localizzazione. I bastioni, costruiti verso il 1550 per volere del viceré de Vega, rappresentavano, insieme al Castello a Mare, la linea di difesa della città dagli attacchi navali. Il Bastione

del Tuono o del Terremoto – così detto per la grande batteria di cannoni ivi collocata – compreso nei pressi dell’attuale Palchetto della Musica, fra la Porta Felice e la Porta dei Greci, ha pianta pressoché rettangolare. Il Bastione Vega, a pianta cuspidata – così denominato in onore del viceré Ferdinando de Vega – occupava il vertice sud-orientale della cinta muraria cittadina, a protezione della Porta dei Greci, e giungeva fino all’attuale aiuola spartitraffico; ne sopravvive una porzione all’interno del giardino del NH Hotel. I bastioni furono demoliti nella seconda metà del XVIII secolo, quando avevano perso la funzione strategica e venne allargata la passeggiata a mare. Se ne conservano le parti del basamento, messe parzialmente in luce nel corso di queste indagini.

#### **F. 19. Castello a Mare**

L’area del Castello a Mare è stata restituita alla fruizione con un valente progetto di recupero di una struttura fortificata a guardia dell’imboccatura dell’antico bacino portuale, che le fonti indicano come castrum inferior, già per l’età normanna. Sembra comunque accertata anche l’esistenza di una fase di età araba, alla quale è connessa la contigua necropoli musulmana di cui si conserva un lembo con sepolture costituite da semplici fosse o da fosse rivestite da lastre contenenti inumati deposti sul fianco destro e con il volto rivolto verso Sud secondo il rito islamico.

Anticamente il castello era composto da un grande maschio di epoca araba, alcune parti normanne (come la Chiesa di S. Pietro Balnearia o Bagnara), bastioni e zona d’ingresso quattrocenteschi, un palazzetto rinascimentale, una chiesa cinquecentesca (la Madonna di Piedigrotta, edificata su una antica moschea araba), due basse torri esagonali e molte altre strutture e fabbriche di epoca più recente. Degli antichi edifici rimangono parte della torre mastra, la torre cilindrica ed il corpo d’ingresso.

Nel 1834 dopo la demolizione della Chiesa di S. Pietro, secondo il Di Giovanni, si scoprirono “avanzi di antichi bagni, certamente di epoca romana”.

#### **F. 20. Piazza XIII Vittime - Rione S. Pietro**

Tutta la fascia dell’abitato sino al mare da età araba in poi era occupata dall’Harat al-Saqaliba (“quartiere degli Schiavoni”), denominato Seralcadi sotto i Normanni. Questo settore sarà poi occupato in età moderna dai rioni Castello a Mare e S. Pietro. In uno degli interventi di scavo mirati alla ricerca sistematica delle vestigia e dei monumenti scomparsi della città antica e medievale, nel 1986 tra Piazza XIII Vittime e la Via Squarcialupo, è stato rinvenuto un tratto della cinta muraria cinquecentesca. Nelle immediate vicinanze del sito in cui si apriva la “Porta San Giorgio” è emerso inoltre un consistente deposito di grandi palle di pietra per trabucco accatastate su più livelli all’interno delle mura (Saggio A).

Gli esiti di ulteriori scavi condotti nei pressi di Piazza XIII Vittime, intorno al Cortile del Barillaio agli Spersi, hanno dimostrato anche la presenza di una necropoli araba, nonché di resti dell’abitato arabo e medievale distrutti dall’impianto della cinta muraria cinquecentesca. Una fase di organizzata espansione edilizia di inizio XI secolo che andrà poi ad obliterare la precedente necropoli islamica era caratterizzata da molteplici strutture murarie e pozzi d’acqua a pianta quadrata e circolare (Saggio B).

#### **F. 21. Via Cavour - Via Crispi - Via Volta**

Nell’area del Molo Trapezoidale, a NE della città, il vasto cimitero sub divo ritenuto di età bizantina che si estendeva nell’area compresa tra le vie Ruggero Settimo, Roma, e Cavour probabilmente raggiungeva anche il sito della odierna Piazza Tredici Vittime. Nel 1878 in via Alessandro Volta sono state rinvenute le tracce di un tardo sepolcreto da ricollegare probabilmente ancora una volta alla estesa necropoli sotto via Cavour.

Questo vasto sepolcreto tardo antico non è mai stato oggetto di scavi sistematici.

#### **F. 22. Piazza Giachery**

In piazza Giachery nel 1935, durante i lavori di sbancamento per la costruzione della Stazione Ferroviaria Porto, fu rinvenuta una tomba a pozzetto e grotticella, databile all’Eneolitico medio. A tal proposito in una lettera del 16 agosto 1935 J. Bovio Marconi riferisce del rinvenimento, insieme ad ossa umane, di due ollette globulari e un vaso a “saliera”, attribuibile alla cultura della Conca d’Oro, poi pervenuti al Museo Archeologico. Altre tombe simili,

ma distrutte, furono trovate nella zona. Il rinvenimento di queste tombe fa supporre la presenza di un contiguo insediamento coevo.

#### TRATTA “F”

(5,520 Km), dal parcheggio FRANCIA alla borgata di Sferracavallo

#### G. 23. Partanna, Podere Santocanale

Il podere Santocanale, scomparso con l’espansione edilizia del borgo di Partanna, si estendeva fino ai piedi del Monte Gallo e confinava ad Est, fino al 1951, con i terreni del Cotonificio Siciliano. Si ignora il numero delle tombe venute alla luce nel corso del tempo. Una stima di Giosuè Meli nel 1954 ne contava 40. Per quanto riguarda gli antichi rinvenimenti i corredi sono andati per la maggior parte dispersi, pochi reperti si custodiscono nelle collezioni di Santocanale e De Gregorio. I rinvenimenti risalenti agli sbancamenti per la costruzione del Cotonificio sarebbero finiti nelle mani degli addetti ai lavori se Giosuè Meli, della Soprintendenza alle Antichità, non avesse curato il recupero e la documentazione grafica. Sono inquadrabili nella prima metà dell’Eneolitico.

#### G. 24. Monte Gallo/Pizzo Impisu

Il Monte Gallo è una massa compatta di rocce con forma piuttosto irregolare, allungata, che corre da SE a SO per circa quattro chilometri e per circa la metà in senso trasversale. Appare divisa in quattro settori o gibbosità per l’effetto di tre faglie che corrono in corrispondenza di altrettanti valloni. Nel primo settore emerge la cima di Pizzo Impisu, di m 353. Lungo la sua falesia sud-occidentale, settore oggi sottoposto a vincolo archeologico diretto, si aprivano almeno tre grotte che, parzialmente indagate, hanno restituito tracce di resti paleontologici e di frequentazione antropica:

- la Grotta della Cava: oggi non più esistente, venne in luce verso la fine degli anni ‘60 nel fronte della cava di calcare aperta ai piedi della cresta Impisu.
- la Grotta Impisu: si apre nell’estremità occidentale della cresta del Pizzo Impisu. L’ingresso ha forma lenticolare largo circa 5 m ed alto mediamente uno. Si segnala la presenza nei depositi interni di ossa di *Elephas mnaidriensis* e di frammenti fittili ad impasto appartenenti ad orci posti in corrispondenza di stillicidio.
- la Grotta Impisu II o del Pecoraio: cavità ricordata per il suo interesse archeologico e paleontologico. E’ una grande vacuo che s’incontra seguendo in salita la falesia, una cinquantina di metri dopo la grotta Impisu, formatosi per la caduta di grandiosi massi che si appoggiano alla parete.

Nel deposito antropico si distinguono due strati: “Quello superiore è di terra scura, fine, con poche pietre, pochi gusci di molluschi terrestri e marini, tra i quali di patella ferruginea, e poche ossa animali – di equidi, ovini, ovidi e di taglia più piccola –poche schegge di selce e qualche utensile di selce, raschiatoi, grattatoi e lame, tipici del paleolitico superiore. La strato inferiore è di terra rossa, particolarmente fine, untuosa, di colore aranciato, assolutamente sterile la parte superiore”. Un sondaggio della Soprintendenza ha restituito resti di *Elephas mnaidriensis*.

#### VALUTAZIONE DEL RISCHIO ARCHEOLOGICO

L’obiettivo della valutazione sul rischio archeologico è quello di analizzare il livello di incidenza delle attività previste sulle evidenze storico-archeologiche note sulle quali si andrà ad operare. In questo modo, sarà possibile organizzare le attività archeologiche preventive previste e le indagini archeologiche sia preliminari che in corso d’opera nelle zone previste dai tracciati.

La valutazione del rischio archeologico si traduce in due ordini fondamentali di giudizio: il rischio archeologico assoluto (R.A.A.) e il rischio archeologico relativo (R.A.R.).

Il Rischio archeologico assoluto deriva da una valutazione della presenza archeologica sulla base esclusivamente



delle sue caratteristiche storico-archeologiche, a prescindere dall’impatto che l’opera in corso di realizzazione possa avere su di essa.

Il Rischio archeologico relativo considera invece la singola evidenza archeologica o il sito in relazione alle caratteristiche dell’opera da effettuare. Valuta, cioè, il bene archeologico in relazione alle interferenze e all’impatto che possono avere su di esso opere civili di vario tipo.

La valutazione coordinata di entrambi costituisce la diretta conseguenza del lavoro di analisi ed elaborazione dei dati raccolti. Il prodotto finale sarà la redazione delle carte del rischio archeologico.

Si sono voluti distinguere tre livelli di rischio archeologico:

**Alto:** per evidenze archeologiche rilevanti per consistenza e valenza storico-archeologica (aree di vincolo, alte concentrazioni di materiali fittili, significativi resti strutturali e materiali o di tipo monumentale, e in quanto tali inamovibili, tracciati viari antichi, etc.), contigue al tracciato in progetto;

**Medio-alto:** per evidenze archeologiche di superficie di minore consistenza (areali di dispersione di materiale fittile, atti a ritenere verosimile un’antica frequentazione antropica in loco, eventualmente sostenuta anche da dati d’archivio o toponomastici), posti ad una certa distanza dal tracciato in progetto;

**Medio:** per evidenze archeologiche di poca consistenza o valenza (ritrovamenti sporadici decontestualizzati o isolati, semplici segnalazioni) posti in un areale contiguo ma non circoscrivibile rispetto al tracciato in progetto. Bisognerà prestare altresì attenzione anche all’individuazione o alla previsione di dati in negativo come ad esempio i “vuoti archeologici”, vale a dire gli areali che per fattori erosivi, per morfologia del terreno, per precedenti escavazioni od eventi distruttivi e di antropizzazione (abitazioni, vie di comunicazione, etc.) si presumono privi di resti antichi.

Tutte le situazioni di rischio emerse dall’indagine sono state sintetizzate e graficamente rappresentate nella “**Carta del rischio**”. Essa rappresenta il grado di rischio definito per ogni UR attraverso i seguenti colori: rosso, per rischio alto; rosa, per rischio medio-alto; verde, per rischio medio.

Come si può evincere anche dalla Carta del Rischio Archeologico Assoluto, per quanto riguarda l’area interessata dalla **Tratta A** dalla Via Balsamo al Viale Croce Rossa e la breve **Tratta B** si possono definire delle aree a rischio archeologico alto innanzitutto lungo l’asse stradale di Via Roma.

Sebbene gli interventi progettuali non prevedano operazioni invasive sul terreno e l’escavazione di trincee molto profonde rispetto alla superficie dell’attuale manto stradale, l’interferenza del tracciato con il tessuto urbano della città medievale e moderna, che in contesti vicini ha registrato talora sorprendentemente un denso riscontro di attestazioni archeologiche, induce certamente ad attenzionare alcuni settori ben definiti prevedendovi la realizzazione di indagini preliminari all’esecuzione dei lavori.

Si tratta soprattutto dei settori all’incrocio di via Roma, rispettivamente con **via Divisi (A.2)**, con **via Vittorio Emanuele (A.3)**, perno della viabilità antica del centro urbano di Palermo, e con **via Cavour (A.3)**.

Come si può evincere dalla rassegna delle presenze archeologiche individuate (vd. supra), in tutti e tre i casi appare alto il rischio del rinvenimento o di evidenze funerarie, relative a nuclei necropolici extra moenia riferibili ad età ellenistico-romana o tardoromana-bizantina, oppure di tracce di occupazione in età alto e basso-medievale, come i risultati delle indagini archeologiche degli ultimi decenni continuano ad attestare in queste aree.

Altri due settori da attenzionare lungo la medesima tratta, dove il grado di rischio archeologico è alto, sono quelli ubicati lungo Via della Libertà, in corrispondenza di Piazza Edison (**A.7**) e di Piazza Vittorio Veneto, contigua a Piazza Leoni (**A.8**).

L’attribuzione di queste aree al livello di rischio archeologico alto è dovuta in quest’ultimo caso al rinvenimento di alcune tombe dell’età del Rame, la cui presenza potrebbe ricondurre all’esistenza di uno o più nuclei insediativi dei quali però ad oggi non sono state rinvenute tracce. In prossimità di Piazza Vittorio Veneto è previsto tra l’altro anche l’impianto di una sottostazione elettrica di alimentazione. Per quanto riguarda Piazza Edison la presenza di una eccezionale escavazione ipogeica, quale è il c.d. pozzo “punico”, tra l’altro poco distante dal percorso tramviario, è anche sintomo di una frequentazione prolungata del sito.

Diversamente, le zone di ritrovamento di abbondanti ossa fossili riferibili ad elefanti nani risalenti al Pleistocene superiore, nei pressi di via N. Morello (**B.9**) e di via T. Gargallo (**A.6**) e le aree prossime alla Stazione (**A.1**) e al Giardino Inglese (**A.5**) sono state ascritte al livello di rischio archeologico medio-alto, data la loro non puntuale localizzazione.

Per quanto riguarda la **Tratta C** e la **Tratta D**, percorsi tramviari che conducono verso le periferie sud-occidentale e sudorientale della città, si riscontra decisamente una minore interferenza con aree di interesse archeologico. L'unico settore a cui attribuire un grado alto di rischio archeologico è quello più prossimo al centro storico della città. Ci troviamo laddove Corso Re Ruggero fiancheggia le porzioni conservate della cinta muraria medievale di Balarm in corrispondenza di Porta Mazara (**C.10**), un'area che in recenti scavi archeologici ha restituito importanti attestazioni relative all'epoca arabo-normanna.

Alle altre aree, più o meno prossime a presenze archeologiche segnalate, si ascrive un grado medio-alto di rischio archeologico. I tracciati tramviari pertinenti alla **Tratta E** ed alla **Tratta G** si dirigono verso le periferie nord-occidentali della città, rispettivamente verso Partanna-Modello e Sferracavallo. Si tratta di areali che presentano una minore densità di attestazioni archeologiche, tra l'altro prevalentemente costituite da pozzi, ingruttati e qanat. L'unica area con alto rischio archeologico è in corrispondenza dello snodo tra le due tratte in località Partanna: l'una (**G.23**), pur essendo oggi densamente abitata, ha restituito, nel corso dello sbancamento per la costruzione del Cotonificio, le tracce di una vasta necropoli dell'età del Rame, la cui presenza potrebbe ricondurre all'esistenza di uno o più nuclei insediativi, ancora oggi non riscontrati; l'altra evidenza archeologica è un sistema di qanat (**E.15**) presenti nel sottosuolo lungo il tracciato. Proprio in questo snodo su Viale dell'Olimpo è anche prevista la realizzazione di una sottostazione elettrica di alimentazione.

Alle altre aree, più o meno prossime a presenze archeologiche segnalate, si ascrive per la distanza dal tracciato (**E.14**) e per la parziale distruzione del sito ad opera di una cava (**G.24**) un grado medio-alto di rischio archeologico. La **Tratta F**, infine, che da Via Duca della Verdura corre fino alla Stazione FF.SS., intercederà direttamente parecchie aree di interesse archeologico già sottoposte a tutela e in gran parte oggetto di indagini archeologiche recenti, ubicate prevalentemente nel settore della città antica che si affaccia sul mare.

Tutte le presenze archeologiche lungo il previsto tracciato tramviario presentano un livello alto di rischio archeologico soprattutto per la loro estrema contiguità alla tratta in questione.

Le fruttuose indagini archeologiche compiute recentemente su Corso dei Mille (**F.16**) e la densità stratigrafica delle attestazioni riscontrate (necropoli, ambienti ed impianti produttivi di età arabo-normanna e battuto stradale di età sveva) lasciano presagire una prosecuzione delle evidenze anche in prossimità di via Lincoln. Poco più a NE, tra via Archirafi e l'Orto Botanico (**F.17**) può esserci stata, allo stesso modo, una continuità di occupazione in antico di questo sito costiero.

Lungo il Foro Italico Umberto I (**F.18**) è altresì confermata dalle recentissime indagini la presenza dei basamenti dei bastioni della fortificazione cinquecentesca immediatamente al di sotto della superficie stradale.

Proseguendo su via Crispi, lungo entrambe le carreggiate si susseguono aree archeologiche già ampiamente interessate da scavi dalla metà degli anni '80 del secolo scorso in poi. Sul lato mare il complesso fortificato del **Castello a Mare (F.19)**, sito pluristratificato e ormai liberato dalle superfetazioni di età moderna e contemporanea. Lungo l'altro versante i Saggi A e B degli scavi del **rione S. Pietro (F.20)**, anche in tal caso contraddistinti da una notevole complessità stratigrafica.

Infine, all'incrocio tra le **vie Crispi, Cavour e Volta (F.21)**, seppure la realizzazione del moderno sottopasso stradale abbia certamente compromesso la conservazione di eventuali presenze archeologiche, può essere probabile che vi si estenda la prosecuzione dell'ampio cimitero sub divo di età tardoantica, più volte segnalato ma mai sistematicamente indagato.

In conclusione, proseguendo verso NO, l'ultima area di interesse archeologico è quella di **Piazza Giachery (F.22)**, nei pressi della quale nel 1935, durante i lavori per la costruzione della Stazione Ferroviaria del porto, si rinvenne una tomba a pozzetto databile all'Eneolitico medio. Questo settore è stato però già oggetto di indagini archeologiche preventive in occasione della realizzazione della tratta ferrotramviaria Notarbartolo - Giachery-Politeama.

Le restanti porzioni di territorio interessate dalle tratte tramviarie in progetto sono ascrivibili alla definizione di “rischio archeologico medio” data la mancanza di rinvenimenti archeologici documentati, sebbene estese in un'area a ridosso di areali occupati capillarmente e senza soluzione di continuità dalla preistoria ad oggi.



## CONCLUSIONI

Oltre alle valutazioni su esposte, occorre tenere presente che per definire il reale grado di Rischio Archeologico rispetto al tracciato, ai cantieri ed alle opere accessorie (Rischio Archeologico Relativo) durante l'esecuzione delle opere, si deve considerare la tipologia del complesso delle opere in progetto ed il grado di Rischio Archeologico assoluto dell'area che esse andranno ad interessare.

Ricapitolando si considereranno così a **rischio alto**, durante l'esecuzione dei lavori, le seguenti aree:

### Tratta A:

- A.2: Via Roma-Via Divisi;
- A.3: Via Roma- Via Vittorio Emanuele
- A.4: Via Roma - Via Cavour
- A.7: Piazza Edison
- A.8: Piazza Vittorio Veneto/Piazza Leoni

### Tratta C:

- C.10: Mura medievali e Porta Mazara

### Tratta E:

- E.15: Via dell'Olimpo - Scalea

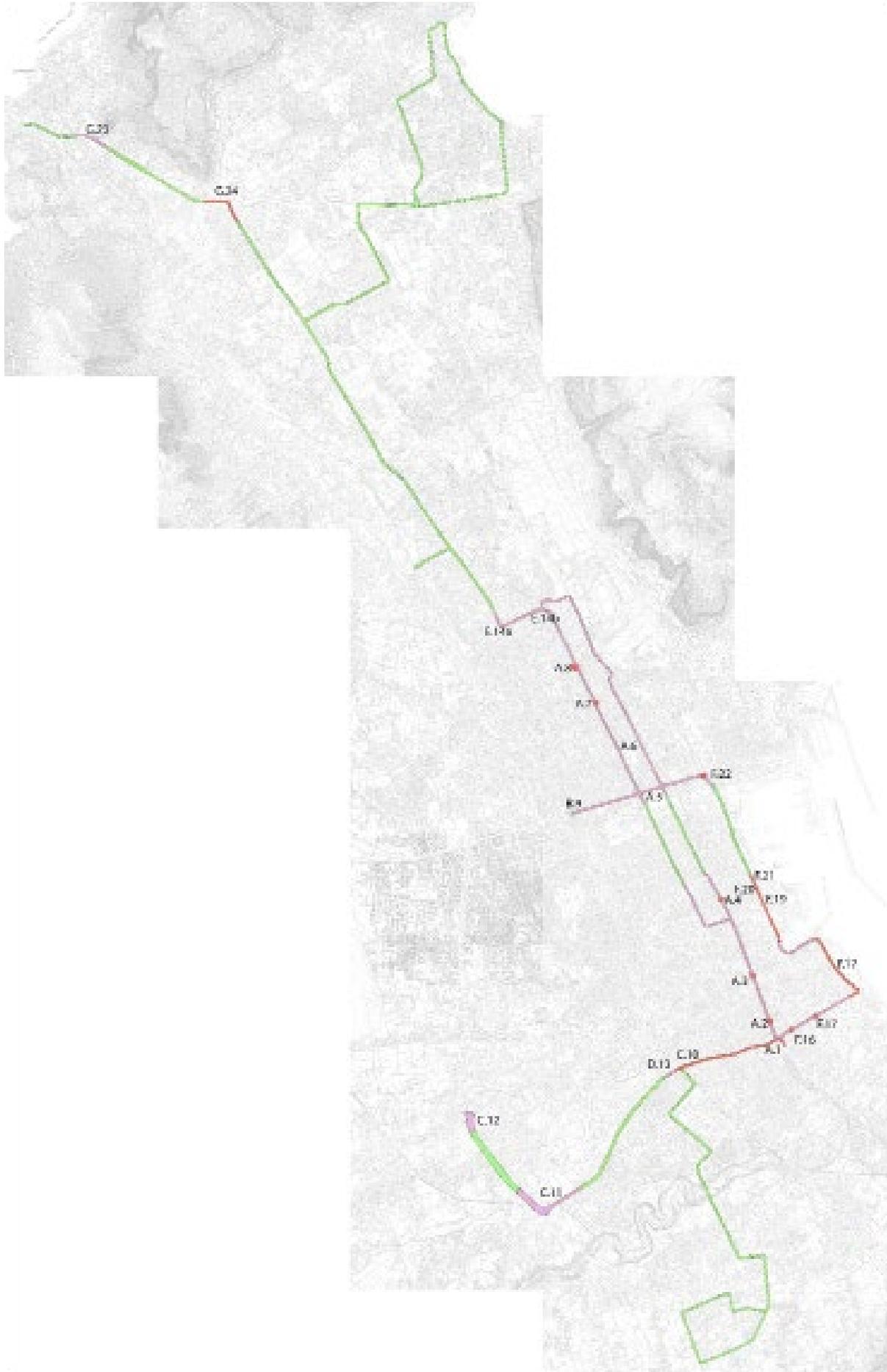
### Tratta F:

- F.16: Corso dei Mille
- F.17: Via Archirafi - Villa Giulia
- F. 18: Foro Italico Umberto I
- F.19: Castello a Mare
- F.20: Piazza XIII Vittime - Rione S. Pietro
- F. 21: Via Cavour - Via Crispi - Via Volta
- F. 22. Piazza Giachery

### Tratta G:

- G. 23. Partanna, Podere Santocanale





Mapa del rischio archeologico

## PIANO DELLE INDAGINI ARCHEOLOGICHE PRELIMINARI

La programmazione di indagini preliminari, secondo i dettami dell’archeologia preventiva, ha lo scopo di ridurre il più possibile i rischi di interruzione o di rallentamento dei lavori in corso d’opera.

All’interno delle aree di interesse archeologico individuate che vanno ad interferire con minore o maggiore incidenza con i lavori in progetto si possono programmare indagini archeologiche preventivamente alla realizzazione dell’infrastruttura tramviaria in base alle richieste e alle prescrizioni della Soprintendenza Archeologica competente.

Un esame accurato delle nuove tratte inerenti l’ampliamento della rete tramviaria, ha consentito di indicare e stabilire le problematiche determinate dall’interferenza del tracciato sull’area attraversata e sui siti archeologici in essa individuati, ed in particolare su quelli direttamente coinvolti.

La suddetta analisi per i settori a maggior rischio ha previsto un’attenta ricerca bibliografica, metodologie di fotointerpretazione, una puntuale ricerca d’archivio presso il Servizio Archeologico della Soprintendenza ai BB.CC. AA. di Palermo, nonché una lettura accurata della documentazione fornita sulla geomorfologia dell’area ed una ricognizione dei luoghi.

Sulla base dei risultati della valutazione del rischio archeologico assoluto e della valutazione delle aree a più alto rischio, si sono potuti determinare gli interventi che si ritengono necessari preliminarmente ai lavori di esecuzione dell’opera e nel corso di questi ultimi. Si andranno ad analizzare, dunque, le problematiche connesse alla possibile intercettazione di aree considerate ad elevato rischio archeologico.

In particolare, si prevedono tre diverse tipologie di interventi di prevenzione e controllo per una tutela idonea nelle aree a rischio archeologico.

Per alcune aree si ritengono opportuni prima dell’inizio dei lavori, saggi di scavo condotti da personale dell’impresa esecutrice dei lavori sotto il controllo di un responsabile archeologo; per altre aree sarà necessaria la presenza costante dell’archeologo in fase di realizzazione delle opere; infine, in concordanza con le prescrizioni della Soprintendenza competente, si richiedono in generale per tutto il percorso del tracciato dei controlli periodici effettuati da archeologi sui fronti di scavo in apertura.

Come abbiamo visto, lungo le sette tratte in progetto relative all’ampliamento del sistema tramviario di Palermo, lo studio archeologico effettuato ha consentito di individuare un numero complessivo di 24 siti, tra aree di interesse archeologico sottoposte a vincolo diretto o indiretto con cui le opere previste possono in qualche modo interferire.

Con la valutazione del grado di rischio archeologico presente per ognuna delle presenze archeologiche individuate, attenendosi alla tipologia dell’emergenza archeologica e alle modalità di intervento in sede di esecuzione dei lavori, si sono individuate 15 tra queste evidenze a cui è stato attribuito un livello elevato di rischio.

In questa sede si suggerisce la modalità di intervento nella realizzazione delle indagini preventive sul terreno da effettuare sia previamente all’esecuzione dell’opera ferroviaria, sia in corso d’opera.

Le zone a maggiore criticità individuate per l’avvio delle indagini preliminari sono le seguenti:

### Tratta A:

- A.2: Via Roma-Via Divisi.
- A.3: Via Roma- Via Vittorio Emanuele
- A.4: Via Roma - Via Cavour
- A.7: Piazza Edison
- A.8: Piazza Vittorio Veneto/Piazza Leoni

### Tratta C:

- C.10: Mura medievali e Porta Mazara

### Tratta F:

- F.17: Via Archirafi - Villa Giulia



In ognuno di questi settori si prevede la realizzazione di un'unica trincea esplorativa eseguita con mezzo meccanico a sezione obbligata, con una larghezza di m 4,00 e aperta su un fronte massimo lungo m 50. Dal momento che le opere in progetto in queste zone non superano una profondità di m 1,00 rispetto alla quota del terreno si valuterà opportunamente in base alle contingenze o a eventuali condizionamenti delle infrastrutture moderne presenti nel sottosuolo quale profondità massima raggiungere. Tali attività verranno eseguite su stretta sorveglianza e supervisione da parte di un operatore archeologo specializzato, con il supporto di un operaio. Nel caso in cui si rinvenissero testimonianze archeologiche, l'operatore archeologo procederà allo scavo stratigrafico secondo le prescrizioni fornite dalla Soprintendenza competente.

#### **Tratte E e G:**

- E.15: Via dell'Olimpo - Scalea + G. 23. Partanna, Podere Santocanale

#### **Tratta F:**

- F.16: Corso dei Mille
- F. 18: Foro Italico Umberto I
- F.19: Castello a Mare
- F.20: Piazza XIII Vittime - Rione S. Pietro
- F. 21: Via Cavour - Via Crispi - Via Volta
- F. 22. Piazza Giachery

In questi settori, data la notevole estensione delle zone con un elevato potenziale archeologico, si procederà con l'effettuazione di trincee esplorative eseguite a campione con mezzo meccanico a sezione obbligata, estese per m 20 x 4,00 e posizionate ad intervalli regolari lungo un fronte variabile in estensione da sito a sito (m 300 presso i contigui siti E.15+G23 e F19+F.20+F.21; m 700 presso il sito F.18; m 100 presso il sito F.16).

Il numero e l'estensione delle trincee sarà condizionato da diversi fattori: dal riscontro di preesistenti indagini già realizzate lungo la sede stradale in alcuni di questi contesti (Corso dei Mille, Foro Italico e Piazza Giachery, ad esempio); dalla realizzazione di opere accessorie o di aree di cantiere funzionali ai lavori; dai condizionamenti del terreno o infrastrutturali nel sottosuolo.

Anche in tal circostanza queste attività verranno eseguite su stretta sorveglianza e supervisione da parte di un operatore archeologo specializzato, con il supporto di un operaio. Nel caso in cui si rinvenissero testimonianze archeologiche, l'operatore archeologo procederà allo scavo stratigrafico secondo le prescrizioni fornite dalla Soprintendenza competente.

Nelle operazioni di scavo dei saggi preventivi, di fronte all'impossibilità di precisare in anticipo le loro modalità, ci si riserva la possibilità di eventuali cambiamenti durante il lavoro stesso.

Proprio per tale motivo nei computi metrici lo scavo si stima che venga eseguito per 2/3 tramite scavo meccanico cauto, eseguito da escavatore, con l'assistenza di operatore archeologo specializzato e con il supporto di operai comuni per le rifiniture dei limiti e del fondo dello scavo e per l'eventuale avvicinamento a strutture significative, e per 1/3 mediante scavo archeologico stratigrafico, eseguito da operatore archeologico specializzato, con il supporto di operai comuni.

Le fasi di lavoro sia in scavo che durante l'allontanamento della terra entro l'area di cantiere, il recupero e la sistemazione dei reperti saranno seguite dall'archeologo e dagli operai addetti. L'archeologo dovrà redigere una completa documentazione scientifica comprendente: giornale di scavo, compilazione schede US, relazioni periodiche sullo stato dei lavori, documentazione grafica e fotografica degli strati.



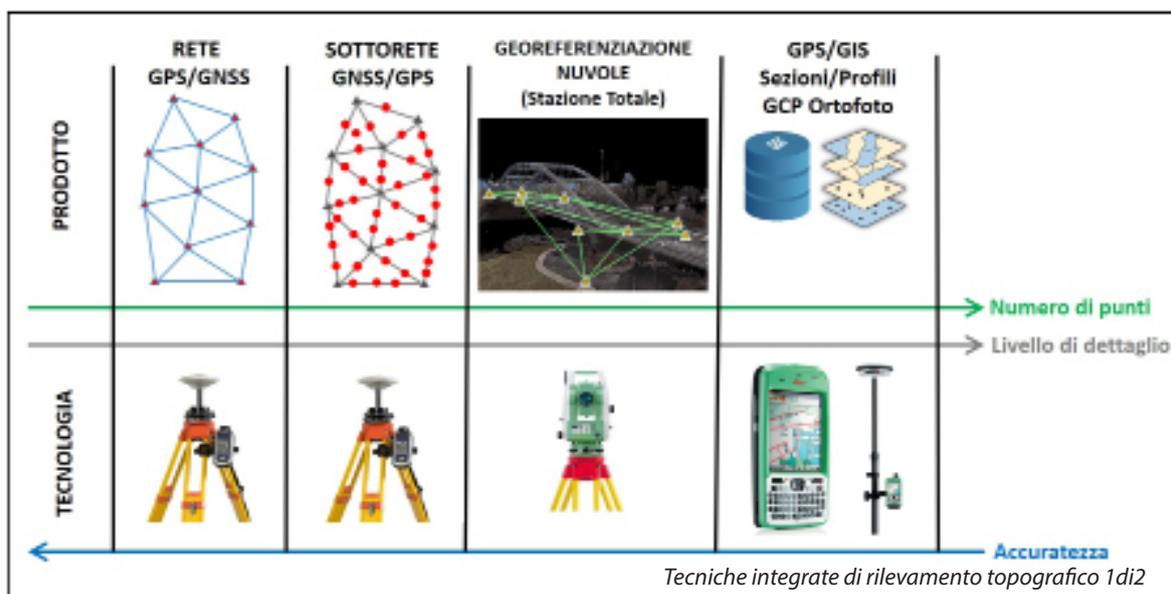
## C. PROGRAMMA DETTAGLIATO DELLE INDAGINI TOPOGRAFICHE

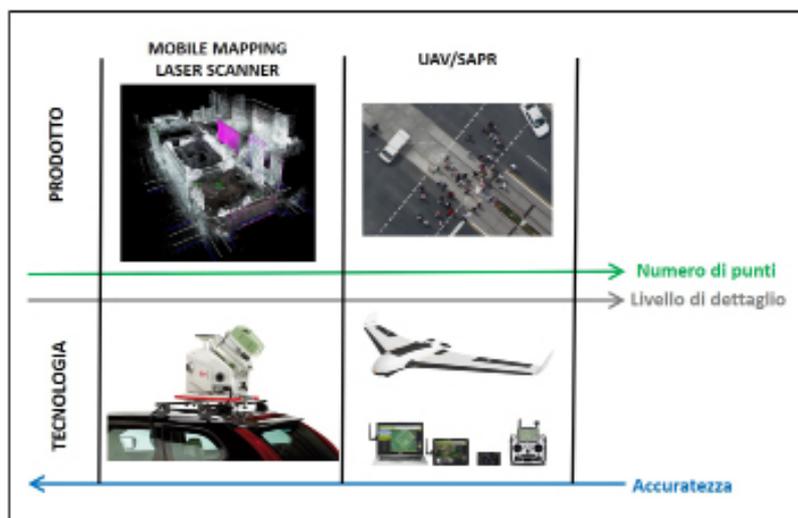
Il presente paragrafo illustra il progetto delle fasi di rilevamento che verranno attuate al fine di una efficace progettazione del sistema Tram Palermo Fase II. Il progetto prevede l'uso integrato delle più avanzate tecnologie e tecniche di rilievo oggi disponibili. L'innovazione tecnologica nel settore del rilevamento terrestre ha portato in anni recenti alla diffusione di sistemi fortemente automatizzati e multi-funzione, in grado di eseguire direttamente sul campo una serie integrata di operazioni che vanno dalla georeferenziazione di misure topografiche su base assegnata, alla definizione veloce delle geometrie degli oggetti attraverso la strumentazione laser, che opera per osservazione di singoli punti o per scansione di aree, fino alla sovrapposizione dell'immagine fotografica per il suo importante contributo semantico. L'integrazione di diverse tecniche di rilievo consente di rendere le operazioni più veloci ed efficienti, riducendo i tempi di rilievo, oltre a garantire maggior controllo in tutte le fasi esecutive, dalla rilevazione iniziale a quella di stato avanzamento lavori, sino al controllo e collaudo finale dell'opera. I prodotti della restituzione del rilevamento topografico sono, insieme agli strati cartografici, alla base del processo BIM descritto nella relazione R2.

### TECNOLOGIE ADOTTATE

Il programma delle indagini topografiche prevede l'uso integrato dei seguenti metodi di rilievo:

- GNSS (GPS/GLONASS), per la realizzazione della rete di inquadramento di primo ordine e della sottorete di secondo ordine), per la livellazione speditiva (profili longitudinali), per il rilevamento delle sezioni trasversali e per l'appoggio fotogrammetrico (posizionamento differenziale);
- Tecniche GPS/GIS, per la acquisizione direttamente in campagna delle informazioni necessarie alla progettazione esecutiva (fotografie del sito del rilevamento, immissione dati in tabella degli attributi relativi ai materiali, ai cordoli, etc...);
- Laser scanner mobile mapping (soluzione laser scanner TOF installato su un autoveicolo), per il rilevamento speditivo dell'intera area di progetto;
- Total station, per la georeferenziazione e il controllo delle nuvole di punti da laser scanner acquisite con le tecniche di Laser Scanner Mobile Mapping;
- Livellazione geometrica con autolivello digitale di alta precisione, per il rilevamento altimetrico delle aree dove si renderà necessaria una accuratezza millimetrica o sub-millimetrica;
- UAV/SAPR (UAV sta per Unmanned Aerial Vehicle / SAPR sta per Sistemi Aeromobili e Pilotaggio Remoto, comunemente chiamati "droni") per il rilevamento aerofotogrammetrico dell'area interessata dal progetto esecutivo e la produzione dell'ortofoto di progetto ad altissima risoluzione.





Tecniche integrate di rilevamento topografico 2di2

### RETE DI INQUADRAMENTO GNSS, DI PRIMO LIVELLO

Come è noto, nel rilevamento topografico, si procede dal generale al particolare. Questo approccio si traduce nel materializzare una rete di inquadramento, molto precisa, su cui "appoggiare" le varie sottoreti e i vari rilevamenti di dettaglio (laser scanner mobile, rilievo target per georeferenziare e controllare le nuvole, appoggio fotogrammetrico, livellazione geometrica, etc...). Questo approccio continua ad essere profondamente valido anche con l'introduzione delle più moderne tecniche di rilievo. Nel caso in esame si realizzerà detta rete di inquadramento che chiameremo "di primo ordine" attraverso l'uso delle tecniche di rilievo GNSS (Global Navigation Satellite System) comunemente note come tecniche GPS (Global Positioning System). In ragione della elevatissima precisione richiesta alla rete di ordine maggiore si renderà necessario procedere ad un rilevamento GPS statico in modalità relativa (modalità attuata attraverso una coppia di ricevitori GNSS geodetici).

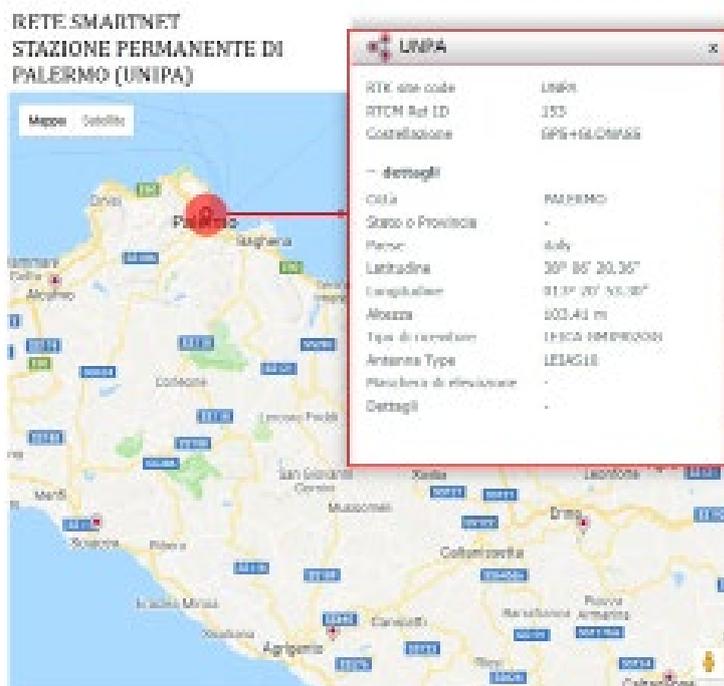
Le stazioni vanno materializzate in via permanente attraverso borchie cementate sul piano stradale o chiodi topografici e localizzate con accuratezza, prediligendo gli spazi aperti, in modo da evitare riflessioni multiple del segnale GPS (multipath) con conseguente perdita di accuratezza nel posizionamento.

Il posizionamento relativo GNSS è il metodo di rilevamento satellitare più accurato utilizzabile e si basa sulla adozione contemporanea di due ricevitori GNSS geodetici (doppia frequenza L1 + L2) di cui uno stazionato su un vertice di coordinate note. Il metodo consiste nel rilevare, attraverso misure di fase sul segnale emesso dai satelliti, un vettore tridimensionale tra i centri di fase dei due ricevitori, stazionati su treppiede topografico, attraverso una serie di elaborazioni in post-processing che tengono conto di un modello accurato di ritardo ionosferico e troposferico.



Ricevitore GNSS Geodetico su treppiedi

L'accuratezza posizionale cresce in modo non lineare con il tempo di stazionamento; superate le due ore i miglioramenti di precisione diventano marginali. Si prevede dunque di attuare stazionamenti di un paio d'ore in ogni vertice, con un update rate di 1 Hz (un "pacchetto" dati al secondo) appoggiandosi, per il posizionamento relativo, alla stazione GPS geodetica dell'Università degli Studi di Palermo che distribuisce, in formato di interscambio RINEX, i dati acquisiti dalla stazione GPS geodetica permanente allocata sul tetto del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM).



Dettagli geografici e tecnici della stazione permanente SmartNet gestita da Unipa

La stazione fa parte della rete SmartNet di Leica Geosystem.

L'accuratezza posizionale ottenuta con questo metodo, considerata anche la piccola lunghezza delle baseline, è sicuramente inferiore al centimetro.

La seguente figura mostra una possibile disposizione dei vertici della rete GNSS di inquadramento rispetto alla articolazione geografica delle linee; si prevede di materializzare circa 85 punti ad una distanza media di circa 500 metri l'uno dall'altro.

I vertici sono stati scelti privilegiando le zone senza problemi di multipath (dove possibile, in assenza di superfici riflettenti) e l'intervisibilità reciproca.

La rete di primo livello ha funzioni essenzialmente di controllo e non è utilizzabile, nel suo complesso, come rete di appoggio per il rilevamento di dettaglio con la stazione totale; per questa attività si rende necessaria una seconda rete, di raffittimento, più capillare e caratterizzata da una maggiore intervisibilità reciproca tra i punti delle due reti (caratteristica abilitante l'uso della Stazione Totale, strumento opto-elettronico).

L'impegno stimato, in termini di tempo e risorse umane, per le attività di rilevamento e restituzione delle coordinate della rete GNSS/GPS di primo ordine è di 2 mesi uomo. Si prevede di mandare "in campagna" 4 operatori con 4 differenti ricevitori GNSS/GPS doppia frequenza (ciascuno si aggancia separatamente alla stazione permanente di UNIPA) in modo da rilevare contemporaneamente n. 4 vettori baseline alla volta e riuscire a chiudere le operazioni di campagna in 15 giorni.



*Rete di inquadramento GNSS di primo ordine*

### Legenda

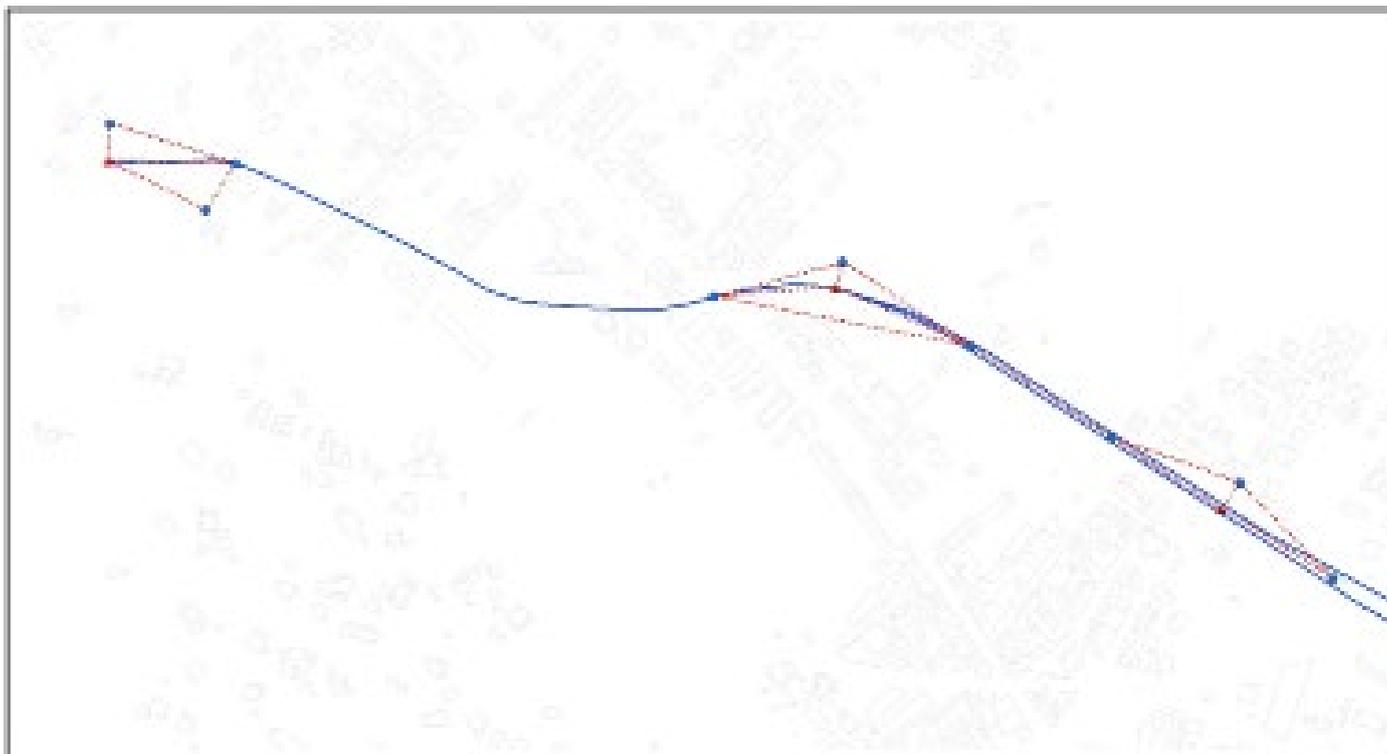
- Intervisibilità reciproca
- ▲ Rete GNSS/GPS di primo ordine

*Intervisibilità reciproca "teorica" tra i punti della rete GNSS/GPS di primo ordine*

### SOTTORETE GNSS/GPS DI SECONDO ORDINE

Questa rete si rende necessaria al fine di poter beneficiare dei vantaggi topografici derivanti dall'uso della stazione totale. Uno di questi consiste nel rilevamento tridimensionale delle coordinate di target riflettenti che consentono, anche in presenza di sistemi automatici di georeferenziazione delle nuvole laser scanner, una ridondanza nei controlli degli orientamenti delle stesse.

Inoltre ci sono casi, specialmente in area fortemente urbanizzata, in cui il segnale GPS è fortemente degradato e l'uso della "tradizionale" stazione totale diventa gioco forza indispensabile.



*Particolare della distribuzione dei vertici GPS di secondo ordine sul tracciato G*

Per quanto sopra, dunque, si prevede di realizzare una seconda rete "a grappolo" fortemente magliata, dal punto di vista della interscambiabilità, con la rete di primo ordine.

Per questa rete non si rende necessaria una accuratezza posizionale dello stesso ordine di grandezza di quella precedente motivo per cui, in ragione del copioso numero di vertici da rilevare, si può optare per una applicazione con metodo relativo statico/rapido.

Il metodo è esattamente identico a quello illustrato al punto precedente (anche in questo caso occorre il modello di ritardo atmosferico e il post processing dei dati di rilevamento) tranne che per il tempo di stazionamento che in questo caso si riduce a circa 10~15 minuti. I vettori baseline saranno costruiti direttamente sui vertici della rete di primo livello le cui coordinate saranno ormai note con elevata accuratezza.

L'accuratezza posizionale del metodo è intorno al centimetro, più che sufficiente rispetto alle precisioni dei metodi di rilevamento integrato identificati.

Una volta conclusa questa fase si avrà a disposizione una sottorete (costituita da circa 250 vertici di coordinate note su cui stazionare la stazione totale) rispetto alla quale orientare le "nuvole" acquisite con tecnica scanner laser mobile mapping.

I tracciati di progetto saranno, di volta in volta associato a dei particolari target riflettenti utili per un'accurata georeferenziazione tridimensionale delle "nuvole" da laser scanner di cui si dirà al prossimo paragrafo.



*Esempi di Target per la georeferenziazione tridimensionale delle nuvole*

Una nuvola laser scanner, se non inserita cartograficamente nel sistema di riferimento del rilievo, ha come ogni corpo rigido nello spazio 6 gradi di libertà: tre traslazioni rigide e tre rotazioni. Per poterla georeferenziare si rende necessaria l'introduzione di almeno una coppia di terne di coordinate per almeno due punti della nuvola: i target rendono questi punti estremamente visibili e consentono una collimazione digitale accurata.

Anche nel caso di cui diremo a seguire, di georeferenziazione automatica delle nuvole, i target continuano ad avere una grande rilevanza in quanto, aumentando la ridondanza delle misure, consentono di operare controlli dettagliati sulla posizione relativa delle nuvole laser scanner e una georeferenziazione precisa delle stesse.

Nella ipotesi di andare “in campagna” con n. 4 operatori contemporaneamente il rilevamento della rete GNSS/GPS di secondo ordine richiederà circa 7 giorni.

#### **RILEVAMENTO GNSS RTK**

I punti di dettaglio necessari per la produzione di sezioni trasversali e profili longitudinali verranno acquisiti attraverso la tecnica GNSS differenziale/VRS.

Questi metodi di rilevamento sono molto più speditivi del posizionamento relativo di cui ai due paragrafi precedenti e consentono di ottenere il dato di posizione (le tre coordinate geodetiche rettangolari X,Y,Z del vertice nel sistema WGS84 o, in alternativa, le coordinate cartografiche E,N,Q) in “tempo reale” direttamente in campagna. In letteratura il metodo è noto anche come RTK (Real Time Kinematic). Il posizionamento differenziale, che è comunque un metodo a misura di fase, è basato sul fatto che tra i due ricevitori GNSS (geodetici doppia frequenza L1 + L2) si stabilisce una comunicazione attraverso un protocollo prestabilito (GPRS, HTTP, radio, ...). Uno dei due ricevitori è posizionato su un punto di coordinate note (stazione MASTER) e, acquisendo contemporaneamente il segnale GPS da almeno 4 satelliti, ridetermina la propria posizione e, per differenza, le cosiddette correzioni differenziali  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  che trasmette attraverso il protocollo di comunicazione prestabilito al ricevitore posto sul vertice di coordinate incognite (il ROVER) il quale applica le correzioni differenziali ricevute aumentando notevolmente l'accuratezza posizionale rispetto ad un posizionamento assoluto a misura di codice C/A.

Le correzioni differenziali possono essere fornite, sottoscrivendo un vero e proprio abbonamento, da un soggetto privato che fornisce il servizio (ad esempio la rete NetGeo di Topcon, la rete SmartNet ItalPoS di Leica Geosystem, etc...) attraverso una rete di stazioni permanenti dislocate su tutto il territorio nazionale.

La modalità VRS (Virtual Reference Station) richiede una comunicazione bidirezionale tra il ricevitore dell'utente e il centro della rete, perché questo deve confezionare delle correzioni “specializzate” per la posizione il ricevitore dell'utente. Il calcolo che combina tra di loro i dati delle diverse stazioni viene eseguito nel centro di controllo della rete per produrre i dati di una stazione virtuale che vengono spediti al ricevitore dell'utente.

Operando in ambiente metropolitano non vi è alcun problema di copertura della rete dati 4G motivo per cui ci si può dotare di ricevitori GNSS per rilevamento RTK dotati di un comune modulo di telefonia cellulare.

In questo caso, al fine di favorire la celerità di acquisizione si adotteranno stazionamenti con asta telescopica (dotata comunque di livella sferica).



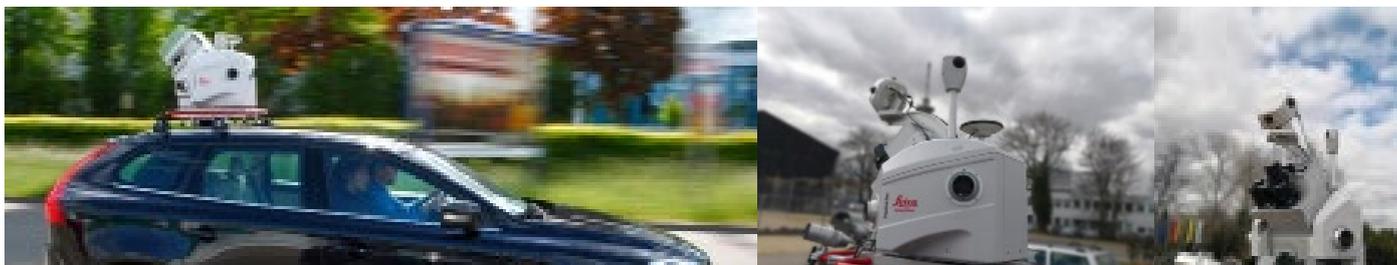
Ricevitore GNS RTK

I tempi di stazionamento saranno nell'ordine dei 5÷10 secondi.

Inoltre, ci si doterà di strumentazione particolare idonea per applicazioni cosiddette GPS/GIS. Questi strumenti, integrati con un palmare “rugged” e un software GIS per il campionamento, consentono di ottenere, direttamente in campagna, un elaborato CAD/GIS con una tabella degli attributi (TOA) contenente una serie di informazioni preziose per il progettista (fotografie dell'intorno del vertice rilevato, inserimento manuale di dati alfanumerici agganciati al punto quali materiali, presenza di cordoli, etc...).

#### TECNICHE LASER SCANNER LONG RANGE

Al fine di acquisire in tempi rapidi la geometria del tracciato si prevede di adottare tecniche di mobile mapping laser scanner. Si tratta di una tecnica di rilevamento, specificatamente pensata per applicazioni di ingegneria stradale e dei trasporti, tra le più avanzate oggi disponibili e si basa sulla installazione di una strumentazione laser scanner a tempo di volo (TOF – Time Of Flight) sulla scocca di un autoveicolo.



Mobile Mapping Laser Scanner

La strumentazione è dotata di vari sensori integrati tra cui un ricevitore GNSS geodetico, un giroscopio INS inerziale, un profilometro LIDAR e varie telecamere. Una strumentazione di questo tipo consente di operare la georeferenziazione semi-automatica delle nuvole e il conseguente abbattimento dei tempi di rilievo. Il prodotto del rilievo è costituito da una nuvola laser scanner georeferenziata con accuratezza centimetrica (~ 1 cm).

Lo strumento acquisisce immagini calibrate e nuvole di punti a 360° senza dimenticare alcun oggetto. Catturare l'immagine sferica completa insieme al dato Lidar, significa non dimenticare nessun oggetto e non dover tornare in sito. Inoltre è possibile installare una camera posteriore opzionale per l'analisi della pavimentazione.

La tecnologia è disponibile anche in versione “backpack”, racchiusa cioè in uno zaino, in modo da consentire, camminando, una acquisizione lenta delle nuvole. L'utente può, in alternativa, farsi trasportare come passeggero su un motoveicolo assicurando la necessaria agilità richiesta dai rilevamenti in ambiente metropolitano.



*Mobile Mapping Laser Scanner, strumentazione zaino*



*Esempio di nuvola di punti acquisita con tecnica Mobile Mapping Laser Scanner*

Le operazioni di rilevamento con tecnologia mobile mapping laser scanner sono molto veloci; più lunghe le operazioni di restituzione e filtraggio delle nuvole di punti acquisite. Si stima di chiudere le operazioni di campagna e la restituzione digitale in circa 5 giornate lavorative.

In questo caso sarà opportuno eseguire due rilevamenti della stessa zona, uno diurno e uno notturno. La nuvola acquisita nelle ore di sole sarà arricchita dalle colonne RGB, con l'importante contenuto semantico che portano le texture, ma sarà caratterizzata da una fortissima influenza del traffico veicolare. Questi effetti potranno essere mitigati attraverso l'istituzione di zone con divieto di sosta. Le nuvole acquisite in ore notturne non presenteranno la stessa ricchezza cromatica ma saranno meno suscettibili ai disturbi apportati dal traffico.

### LIVELLAZIONE GEOMETRICA DAL MEZZO

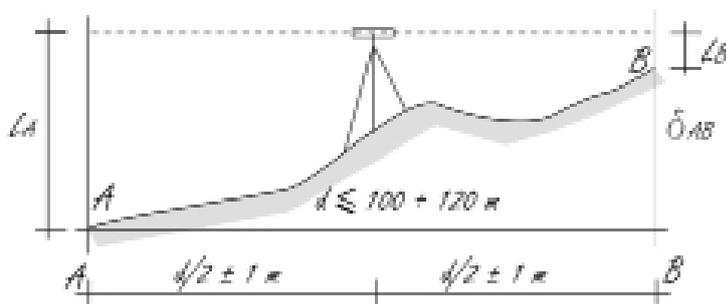
Nei casi in cui si renderà necessaria la conoscenza dell'andamento altimetrico della sede stradale con accuratezza nell'ordine del millimetro (anche sub-millimetrica) verrà adottata la tradizionale livellazione geometrica “dal mezzo” (composta) attraverso un autolivello digitale per misure di precisione.

Un livello digitale, se considerato da solo, non è uno strumento di misura in quanto deficitario del campione di confronto. Questo campione di confronto è rappresentato dalle stadie, oggi realizzate in materiali inestensibili e



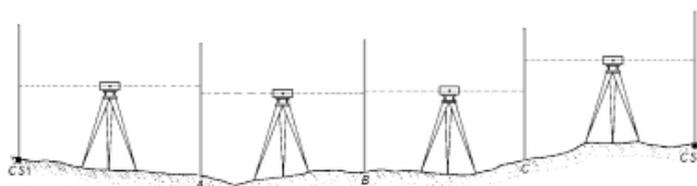
dalla possibilità di operare una lettura elettronica di un codice a barre sovrainciso.

Al fine di ottenere precisioni millimetriche è necessario che i vertici della rete di livellazione siano distanti meno di  $100 \div 120$  metri. In questo caso, il dislivello tra due punti contigui, distanti cioè meno di 100 m, sarà semplicemente pari alla differenza tra le due letture alla stadia (LB-LA), cioè sarà pari alla differenza tra la lettura avanti e la lettura indietro.



Schema della livellazione geometrica "dal mezzo"

Per linee di livellazione più estese di 100 metri si procederà con la consolidata tecnica della livellazione geometrica composta. In questo caso il dislivello tra due punti sarà calcolato come somma delle letture avanti meno la somma delle letture indietro.



Schema della livellazione geometrica "composta"



Livello digitale e stadia codificate

### ORTOFOTOAD ALTISSIMA RISOLUZIONE

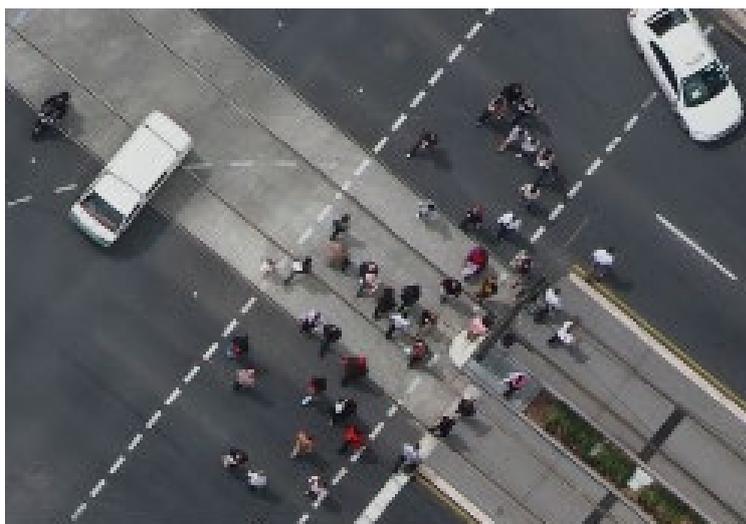
Uno strumento fondamentale per l'attività di progettazione esecutiva è l'ortofoto dell'area interessata dal progetto in altissima risoluzione (GSD – Ground Sample Distance = dimensione del pixel <math>< 10\text{ cm}</math>). Un prodotto cartografico con queste caratteristiche oltre ad essere caratterizzato da una elevata risoluzione geometrica ha il pregio di essere aggiornato alla data della acquisizione. Al fine di produrre una ortofoto con le caratteristiche sopra riassunte si renderà necessario attuare una campagna di rilevamento fotogrammetrico con un drone UAV a pilotaggio remoto equipaggiato con camera ad alta risoluzione (e a distorsione controllata) idoneo, dal punto di vista del regolamento normativo ENAC, al volo in area metropolitana.

Per l'applicazione in esame si prevede l'utilizzo di un drone ad ala fissa di peso complessivo inferiore ai 2 Kg, ritenuto inoffensivo da ENAC nelle sue stringenti linee guida.



*Drona ad ala fissa professionale per applicazioni fotogrammetriche in area urbana*

Progettando accuratamente il piano di volo dell'aeromobile sarà possibile ottenere una ortofoto ad altissima risoluzione con dimensione del pixel (GSD) nell'ordine dei 2÷3 cm.



*Esempio di ortofoto ad altissima risoluzione con GSD < 10 cm*

Un prodotto cartografico di questo tipo, per l'alto contenuto informativo e semantico che "trasporta", è di fondamentale importanza nel processo GIS/BIM prescelto come strumento strategico per la redazione del progetto esecutivo e per la gestione dell'intero ciclo di vita dell'opera.

### CONCLUSIONI

Il programma delle indagini topografiche studiato mette in campo le principali le principali tecnologie e i principali metodi di rilevamento disponibili. Ciò al fine di assicurare un adeguato flusso di informazioni al processo BIM-GIS che si alimenta anche con i dati plano-altimetrici derivanti dai rilevamenti topografici. Il carattere innovativo della proposta si riflette principalmente nella adozione di un sistema di mobile mapping laser scanner ritenuto tra i più efficaci a rappresentare lo stato di fatto della sede stradale di progetto. L'approccio integrato consentirà di gestire in un unico ambiente informatico dati raster, vettoriali e alfanumerici derivanti da un complesso di tecniche di

rilievo. Il posizionamento satellitare GNSS/GPS verrà adottato, con tecniche di rilievo diverse in funzione della accuratezza richiesta dal caso, per la rete principale di primo ordine, per la sottorete di secondo ordine e per le acquisizioni con tecnica GPS/GIS. Il sistema mobile mapping laser scanner produrrà nuvole di punti molto pesanti (si stimano molti milioni di punti) che dovranno essere opportunamente filtrate e gestite. La accuratezza posizionale delle nuvole sarà assicurata dal rilevamento plano-altimetrico, operato con la stazione totale, di opportuni target riflettenti, necessari ad esercitare un controllo di ridondanza sulla loro posizione reciproca. Infine, il processo BIM/GIS sarà ulteriormente alimentato attraverso dati altimetrici estremamente precisi derivanti dalla livellazione geometrica (accuratezza millimetrica/sub-millimetrica) e con il pesante carico informativo e semantico derivante dalla produzione di una ortofoto ad altissima risoluzione (dimensione del pixel < 5 cm) ottenuta attraverso una campagna fotogrammetrica con drone UAV ad ala fissa.

## D. PROGRAMMA DETTAGLIATO DELLE INDAGINI AMBIENTALI

Al fine di approfondire il quadro delle conoscenze di contaminazione dei terreni, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., dovranno essere prelevati campioni di terreno da sottoporre ad analisi chimico-fisiche.

Considerando che si opera in ambito urbano, si prevede di prelevare campioni dalle carote estratte dalle perforazioni.

A tal fine i sondaggi dovranno essere eseguiti utilizzando impiego di carotiere “a mezzaluna”, con carotaggio a secco ed impiego di idropulitrice - con temperatura di 100° dell’acqua in pressione - per la pulizia delle attrezzature da utilizzare nella stessa perforazione e tra le manovre successive durante le operazioni di carotaggio e/o prelievo campioni.

Sarà dunque necessario mantenere inalterate le caratteristiche del campione alloggiandolo in apposito contenitore immediatamente dopo la sua estrazione e descrivere, oltre alla stratigrafia, eventuali evidenze visive e/o olfattive di inquinamento.



Carotiere a mezzaluna

I campioni prelevati e destinati ad analisi chimica dovranno essere contraddistinti da cartellini inalterabili che indichino:

- committente;
- cantiere;
- sigla identificativa del punto di campionamento;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;

- profondità di prelievo;
- data di prelievo

Per la decontaminazione delle attrezzature dovrà essere predisposta un’area delimitata e opportunamente impermeabilizzata, posta a una distanza dall’area di prelievo e campionamento sufficiente a evitare la diffusione dell’inquinamento delle matrici campionate.

A fronte di quanto detto, saranno eseguiti i lavaggi di:

- carotieri, aste di perforazione e rivestimenti metallici, prima dell’inizio della perforazione e a ogni manovra di carotaggio;
- contenitori e impianto per l’eventuale acqua di circolazione di perforazione, prima dell’inizio di ogni sondaggio.

Alla fine di ogni perforazione saranno nuovamente decontaminati tutti gli attrezzi e gli utensili che hanno operato sia in superficie sia in profondità; tali operazioni saranno compiute con acqua in pressione per mezzo di una idropulitrice.

Le apparecchiature e gli attrezzi dovranno essere asciugati mediante evaporazione naturale o, in caso di condizioni climatiche avverse, con carta assorbente (carta filtro) esente da contaminazione. In caso di eventi meteorici, le operazioni di decontaminazione dovranno essere effettuate al riparo dalle acque di pioggia al fine di garantire assenza di alterazioni del campione.

Utensili non facilmente pulibili (funi, guanti) dovranno essere sostituiti con nuovi al termine di ogni trivellazione. Al termine delle operazioni o in attesa di essere riutilizzati, gli attrezzi e le apparecchiature decontaminati dovranno essere conservati in condizioni tali da evitare la contaminazione.

Ogni campione sarà suddiviso in due aliquote, una per le analisi da condurre ed una che sarà resa disponibile per eventuali controanalisi di controllo.

I criteri da adottare per il prelievo dei campioni devono assolutamente garantire la determinazione della concentrazione delle sostanze inquinanti e la eventuale separazione dei materiali che si distinguono per evidenze di inquinamento o per caratteristiche organolettiche, chimico-fisiche e litologico-stratigrafiche.

Se durante le operazioni di scavo saranno riscontrati livelli con evidenze di contaminazione dovrà comunicarsi tempestivamente alla Committenza che, se riterrà opportuno, autorizzerà ad ulteriore campionamento.

Sarà dunque necessario mantenere inalterate le caratteristiche del campione alloggiandolo in apposito contenitore immediatamente dopo la sua estrazione e descrivere, oltre alla stratigrafia, eventuali evidenze visive e/o olfattive di inquinamento.

Il campione deve rappresentare la matrice da cui proviene in modo tale da poter offrire, mediante l’analisi chimica, un quadro esaustivo dello stato qualitativo di quest’ultima.

I campioni rimaneggiati potranno essere prelevati con l’ausilio di palette o spatole e dovranno essere sigillati in sacchetti o barattoli di plastica a tenuta stagna per consentirne la conservazione e la misura del tenore di umidità; essi dovranno essere contraddistinti da un cartellino indelebile posto all’esterno del sacchetto o del barattolo, riportandone la data di prelievo, il nome del campione (rappresentato da lettere alfabetiche), la quota di prelievo e l’ubicazione, nonché l’indicazione del cantiere. Tali dati dovranno essere riportati anche sulla stratigrafia del pozzetto.

La quantità necessaria per le prove di laboratorio è di circa 500 gr per i terreni fini e di circa 5 kg per quelli grossolani.

In sintesi nella formazione del campione da inviare ad analisi di laboratorio dovranno essere adottati i seguenti accorgimenti:

- identificare e scartare materiali estranei che possono alterare i risultati finali (pezzi di vetro, ciottoli rami ecc.) indicandoli opportunamente nel rapporto di campionamento;
- omogeneizzare il campione per avere una distribuzione uniforme dei contaminanti;
- suddividere il campione in più parti omogenee, adottando i metodi di quartatura definiti dalla normativa;

- il contenitore in cui riporre il campione deve essere adeguato alle caratteristiche dell'inquinante e deve essere conservato in luogo adeguato a preservarne inalterate le caratteristiche chimico – fisiche;
- le operazioni di formazione del campione devono essere effettuate con strumenti decontaminati dopo ogni operazione e con modalità adeguate ad evitare la variazione delle caratteristiche e la contaminazione del materiale.

I campioni prelevati e destinati ad analisi chimica devono essere contraddistinti da cartellini inalterabili che indichino:

- Committente;
- cantiere;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;
- profondità di prelievo;
- data di prelievo.

I laboratori incaricati per le analisi dovranno operare con criteri di Buona Pratica di Laboratorio rispondenti a quanto indicato dalla norma UNI EN ISO/IEC 17025:2000, specificando i criteri stabiliti e documentando le modalità utilizzate per l'assicurazione della qualità del dato.

Le procedure analitiche utilizzate per la determinazione dei parametri ricercati devono essere scelte fra quelle riportate nei protocolli nazionale e/o internazionali (IRSA/CNR, EPA, ISO, etc.); in particolare per i suoli quelle riportate in “Raccolta 2000 - Metodi di Analisi dei suoli” redatta dal CTN SSC, Centro Tematico Nazionale “Suolo e Siti Contaminati”.

I limiti di rilevabilità dei metodi utilizzati dovranno comunque essere conformi ai requisiti previsti dalla normativa e, ove tecnicamente possibile, 10 volte inferiori rispetto ai limiti imposti dalle norme vigenti.

Le determinazioni analitiche in laboratorio dovranno essere condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm.

La concentrazione del campione dovrà essere determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro campionato (frazione compresa tra 2 cm e 2 mm.).

Il set dei parametri analitici da ricercare verrà definito in base alle possibili sostanze ricollegabili alle attività antropiche svolte sul sito o nelle sue vicinanze, ai parametri caratteristici di eventuali pregresse contaminazioni, di potenziali anomalie del fondo naturale, di inquinamento diffuso, nonché di possibili apporti antropici legati all'esecuzione dell'opera.

Il set analitico da considerare è riportato nella tabella di seguito allegata, fermo restando che la lista delle sostanze da ricercare può essere modificata ed estesa in accordo con l'autorità competente nel caso in cui, in considerazione di eventuali attività antropiche pregresse, se ne ravvisi la necessità.



ANALITA	Metodo proposto	U.D.M.
Sostanza secca (residuo 105°C)	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984	mg/Kg
Piombo	EPA 3050B 1996 + EPA 6020A 2007	mg/Kg
Piombo tetraetile	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Idrocarburi leggeri C<12	EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007	mg/Kg
Idrocarburi pesanti C>12	EPA 3550C 2007 + EPA 8015C 2007	mg/Kg
Benzene	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Toluene	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Etilbenzene	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Stirene	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Xileni	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Metilterbutiletere	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Etilterbutiletere	EPA 5035A 2002 + EPA 8260C 2006	mg/Kg
Benzo(a)antracene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2007	mg/Kg
Benzo(a)pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2008	mg/Kg
Benzo(b)fluorantene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2009	mg/Kg
Benzo(k)fluorantene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2010	mg/Kg
Benzo(g,h,i)perilene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2011	mg/Kg
Crisene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2012	mg/Kg
Dibenzo(a,e)pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2013	mg/Kg
Dibenzo(a,l)pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2014	mg/Kg
Dibenzo(a,i)pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2015	mg/Kg
Dibenzo(a,h)pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2016	mg/Kg
Dibenzo(a,h)antracene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2017	mg/Kg
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2018	mg/Kg
Pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270D 2019	mg/Kg

*Analiti da ricercare nei campioni di sottosuolo*

## E. PROGRAMMA DETTAGLIATO DELLE INDAGINI GEOLOGICHE E IDROLOGICHE

### INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'area che sarà interessata dalle nuove tratte del Tram ricade nella Piana di Palermo, vasto territorio che si sviluppa parallelamente alla costa ed è limitato da una serie di rilievi montuosi noti nella letteratura geologica come “Monti di Palermo”.

L'assetto morfologico del comprensorio è caratterizzato da una serie di pianori che si succedono da pochi metri fino ad un centinaio di metri sul livello del mare.

La morfologia della Piana è caratterizzata da una generale regolarità, con uno sviluppo quasi pianeggiante e quote comprese tra il livello del mare e 50 m circa s.l.m.

La piana immerge con una pendenza media di circa 2% verso Est.

L'andamento generale è stato in parte delineato dall'azione del mare durante l'era Quaternaria e in parte dall'azione erosiva delle acque incanalate che incidevano la Piana più o meno profondamente.

In passato Infatti la Piana era sede di diversi corsi d'acqua che l'attraversavano producendo lunghe e profonde incisioni oggi colmate da terreni di riporto.

L'azione antropica nei secoli ha cancellato buona parte della morfologia del nucleo cittadino originario caratterizzato in un primo tempo da tre alti morfologici e da una serie di pianori oggi difficilmente identificabili; proprio il processo antropico si è imposto come elemento determinante nell'evoluzione morfologica e nella caratterizzazione geologica e geotecnica del territorio della Piana di Palermo<sup>1</sup>.

La spianata quaternaria che ricopre in trasgressione la Conca d'Oro è costituita da depositi pleistocenici in facies marina detritica, volgarmente noti come “tufo calcareo”, afferenti al Sintema di Marsala.

Tali sedimenti si sviluppano su una monoclinale a giacitura sub-orizzontale che si distende dalla linea di costa fino alla fascia pedemontana.

I terreni quaternari sormontano un substrato argilloso di età oligo-miocenica (Flysch Numidico) affiorante prevalentemente ai bordi della piana e comunque caratterizzato da profondità del tetto variabile da zona a zona. Tale substrato, volgarmente detto “ginolfo”, costituisce il basamento sul quale sono sovrascorse le formazioni mesozoiche e sul quale poggiano appunto in trasgressione le calcareniti quaternarie.

Ricapitolando, è possibile schematizzare come di seguito la successione litostratigrafica presente nel sottosuolo della Piana di

Palermo<sup>1</sup>:

#### A) DEPOSITI OLOCENICI ED ATTUALI

- Terreni di copertura

#### B) DEPOSITI PLEISTOCENICI

- Litofacies calcarenitica
- Litofacies delle Argille Azzurre
- Litofacies conglomeratica

#### C) DEPOSITI OLIGO-MIOCENICI

- Argille del Flysch Numidico

#### D) DEPOSITI MESOZOICI

- Formazioni carbonatiche (Calcari e Dolomie)

Poiché le opere connesse alla realizzazione delle tratte del Tram interesseranno prevalentemente gli orizzonti superficiali dei terreni attraversati per uno spessore di circa 0,7 m, il litotipo coinvolto è rappresentato essenzialmente proprio dalla compagine calcarenitico-sabbiosa.

Tale formazione affiora con due litofacies principali; quella del settore settentrionale della Piana di Palermo e comunque in sinistra idraulica del fiume Oreto, è identificata come “calcareniti bianche”.

<sup>1</sup>Atlante geologico stratigrafico del centro storico di Palermo, P. Todaro, 1995

Si tratta di biocalcareni variamente cementate classificabili come rocce tenere, a grana uniforme, con stratificazione prevalentemente sub-orizzontale.

Sono presenti livelli argillo-sabbiosi e a luoghi variazioni granulometriche sia in senso verticale che orizzontale; la potenza massima è di circa 70 m.

Nel settore meridionale e orientale della piana affiorano le “calcareni gialle”, formate da rocce lapidee a vario grado di cementazione e da rocce sciolte a granulometria variabile.

Il litotipo è costituito generalmente da elementi detritici di natura carbonatica, resti di apparati conchigliari e in subordine da un modesto contenuto in quarzo detritico.

Il deposito è caratterizzato da frequenti variazioni laterali e verticali con passaggi a livelli sabbio-limosi e/o limo-sabbiosi; anche il grado di cementazione può risultare variabile fino a livelli del tutto incoerenti.

La potenza del litotipo varia dal metro ad alcune decine di metri.

Ambedue i litotipi calcarenitici sono sormontati a luoghi da terre rosse d’alterazione e colluvium limo-sabbioso.

Al di sopra del complesso calcarenitico possono essere presenti depositi recenti e/o attuali, costituiti da terreni di riporto eterogenei e di varia natura, dal detrito calcarenitico con eventuale matrice sabbiosa e/o limosa ai terreni di ricolmamento di antiche cave, agli sfabbricidi.

I depositi recenti sono rappresentati da alluvioni a granulometria variabile, depositi lagunari, fanghi e argille deltizie e/o estuariali.

Nel settore meridionale della Piana, sottostanti al Complesso Calcarenitico, si intercettano le “argille azzurre”, costituite da sabbie limose, limi sabbiosi e argille; sono ricche di tritume fossile e frammenti di brecce conchigliari, con elementi ghiaiosi sub-arrotondati che testimoniano l’origine fluviale.

Al contatto tra il suddetto litotipo ed il substrato può ritrovarsi un livello conglomeratico dello spessore massimo di qualche metro.

Il substrato costituito dal Flysch Numidico è il basamento sul quale poggiano in trasgressione le calcareniti quaternarie; è rappresentato da argille sovraconsolidate e argille marnose e in subordine da quarzareniti; le argille hanno generalmente struttura a scaglie e/o brecciata.

Il tetto dei terreni del Flysch si rinviene a profondità variabile dalla superficie, in alcuni settori della Piana è affiorante, come nella zona di Passo di Rigano e Luparello e si intercetta a profondità modesta nella zona di Piazza Noce, via Perpignano, via Roma, via E. Amari.

Come detto in precedenza le opere da realizzare interesseranno gli orizzonti superficiali di terreno, pertanto le interazioni opere-terreno saranno localizzate **principalmente nei terreni del Complesso Calcarenitico** e in subordine nei terreni di copertura recenti e/o attuali (vedi Inquadramento Geologico in allegato).

In riferimento a quest’ultimi terreni la tratta D si svilupperà sulla coltre eluvio-colluviale della zona di Bonagia mentre verso nord la valle del fiume Oreto sarà attraversata mediante il previsto viadotto.

La tratta C si svilupperà in parte sui depositi colluviali continentali.

La tratta F attraverserà l’area costiera dove affiorano i terreni di riporto delle antiche depressioni del Kemonia e del Papireto ed i terreni di riporto post-bellici di Foro Umberto I, così come la tratta A che intercetterà i terreni di riporto delle antiche depressioni del Kemonia e del Papireto.

La tratta E nell’area di Mondello interesserà i depositi palustri con falda sub-affiorante dell’antico “Planum Galli” e i depositi di spiaggia.

La tratta G attraverserà sia i depositi calcarenitici che i terreni della Piattaforma Carbonatica Panormide in facies di calcari dolomitici e dolomie.

Relativamente alle **caratteristiche idrogeologiche**, la piana di Palermo costituisce un’unità idrogeologica piuttosto complessa.

Gli originari contatti fra i vari complessi idrogeologici sono mascherati dall’estesa copertura quaternaria che presenta notevoli differenze litologiche.

Schematizzando, la presenza del substrato impermeabile rappresentato dai terreni del Flysch Numidico crea le condizioni per l’instaurarsi di una falda freatica nell’ambito dei depositi calcarenitici.



La superficie piezometrica oscilla, generalmente, da un massimo di venti metri a qualche metro nella fascia costiera ed in corrispondenza degli antichi alvei.

Tale andamento della superficie freatica dipende dalla morfologia del bedrock argilloso, dalla presenza delle depressioni fluviali, dal diverso grado di cementazione del complesso calcarenitico che ne condiziona la permeabilità, e infine dalla presenza di livelli limo-argillosi impermeabili che possono creare le condizioni per la formazione di falde sospese.

L’acquifero principale quindi è costituito dal complesso calcarenitico-sabbioso caratterizzato da permeabilità primaria per porosità, assai variabile, e in subordine da permeabilità secondaria per fessurazione laddove siano presenti compagini ben cementate.

L’acquifero è alimentato dai rilievi mesozoici che circondano la piana, rappresentati da unità tettoniche derivanti dalla deformazione dei depositi della Piattaforma Carbonatica Panormide e dei depositi afferenti al Bacino Imerese. Il flusso idrico in seno all’acquifero è piuttosto irregolare poiché condizionato in primis dalla variabilità granulometrica del complesso calcarenitico-sabbioso, e in subordine dall’andamento del tetto del substrato flyschoidale, dalle incisioni fluviali, dagli antichi alvei ricolmati con terreni di riporto, dalle intrusioni marine lungo la linea di costa.

In relazione a possibili interferenze tra l’opera in progetto e la falda acquifera si segnala l’area di Mondello, il cui ambito paleogeografico è l’antico Planum Galli, territorio sub-pianeggiante che in passato vedeva il mare insinuarsi profondamente nell’entroterra; nel paleoambiente acquitrinoso si depositarono coltri di terreni torbosi ricchi in residui organici, che ricoprirono il substrato calcarenitico; in tale area la falda si intercetta a modesta profondità dal piano stradale così come in un’area di estensione limitata nei pressi di via Lanza di Scalea.

### PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

Relativamente all’interferenza delle nuove linee del Tram con aree a rischio idraulico e/o geomorfologico, dall’analisi delle carte della Pericolosità Geologica in scala 1:10000 redatta per il P.R.G.2.0 Palermo 2025, e della cartografia di Zonizzazione e Vincoli sul territorio del P.R.G. vigente, discendono le seguenti considerazioni (vedi Carta della Pericolosità Geologica in allegato):

- una parte della Tratta D, in corrispondenza delle vie Lodato, Tricomi e l’attraversamento del Fiume Oreto, intercetta aree classificate come “Sito d’attenzione” geomorfologico per la presenza di cavità sotterranee; inoltre sono stati censiti alcuni dissesti localizzati sulle sponde dell’Oreto dovuti a fenomeni di erosione accelerata (fenomeni di erosione laterale e di fondo);
- la tratta C nella zona di corso Tukory attraversa aree classificate come “Sito d’attenzione” geomorfologico per la presenza di cavità sotterranee;
- parte delle tratte A, B, E e F, nelle zone di Via Libertà, via Notarbartolo, viale Croce Rossa, via De Gasperi e Strasburgo attraversano aree classificate come Sito d’attenzione geomorfologico per la presenza di cavità sotterranee;
- porzioni delle tratte A e F, nella zona della Cala e via Roma attraversano parti di territorio classificate Sito d’attenzione per possibili fenomeni di esondazione;
- parte della tratta E in località Mondello, attraversa aree classificate Sito d’attenzione per fenomeni di esondazione, inoltre la stessa tratta lungo le vie Lanza di Scalea, Olimpo e Galatea può intercettare zone con presenza di qanat.

Ulteriori criticità si individuano laddove le nuove linee del Tram intersecheranno canali naturali e antropici e collettori, con possibili interferenze con gli scatolari entro cui scorrono le suddette strutture.

In definitiva le considerazioni d’ordine geolitologico, geomorfologico e idrogeologico, circa le caratteristiche della formazione esaminata e la presenza dei vincoli di pericolosità e rischio di PRG e di PAI, conducono ad affermare che non dovrebbero presentarsi situazioni ostative alla realizzazione delle tratte di Tram previste.

## INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Nel dettaglio l'elenco delle attività previste:

Attività	Quantità
<b>INDAGINI GEOFISICHE</b>	
Prospezioni georadar	59.000 m
Prova sismica a rifrazione	6
Prova sismica passiva HSRV	90
Sondaggio sismico tipo down-hole	12
<b>SONDAGGI GEOGNOSTICI</b>	
Sondaggio geognostico mediante perforazione ad andamento verticale a carotaggio continuo	2105 m
Prelievo di campioni indisturbati per indagini fisico-meccaniche	129
Prelievo di campioni rimaneggiati per indagini fisico-meccaniche	155
Prelievo di campioni per indagini ambientali	300
Installazione di piezometri	450 m
<b>PROVE GEOTECNICHE IN SITO</b>	
Prova penetrometrica tipo S.P.T.	282
Prova di permeabilità tipo Lefranc	36
Prova dilatometrica in foro di sondaggio	9
<b>PROVE GEOTECNICHE IN LABORATORIO SU TERRENI SCIOLTI</b>	
Analisi e prove di laboratorio (prove di identificazione)	369
Prova di taglio diretto tipo CD	44
Prova di compressione triassiale tipo UU	29
Prova di compressione triassiale tipo CD	4
Prova di compressione semplice ELL	45
Prova di consolidazione edometrica	4
<b>PROVE GEOTECNICHE IN LABORATORIO SU TERRENI LAPIDEI</b>	
Prove di identificazione	90
Point load	95
Compressione monoassiale	95
Compressione monoassiale con determinazione del modulo di Young	12
Analisi fisico-chimiche per caratterizzazione ambientale	120

In generale, le attività saranno condotte nel rispetto delle “Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche” emanate dall’Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.) e A.N.I.S.I.G. (Associazione Nazionale Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche), “Modalità tecnologiche e norme di misurazione e contabilizzazione per l’esecuzione di lavori di indagini geognostiche”.

Prima dell’avvio delle indagini, saranno condotte tutte le attività necessarie affinché l’esecuzione delle stesse avvenga in condizioni di sicurezza per i lavoratori impegnati; in particolare si procederà alla verifica della stabilità dei terreni attraverso un rilievo geomorfologico di superficie, ed alla determinazione dei parametri geotecnici ed eventualmente alla recinzione delle aree a rischio d’instabilità per impedirne l’accesso ai lavoratori.

L’impresa dovrà assicurare, a proprie spese, durante tutte le fasi della perforazione, l’assistenza di un geologo per ogni macchina perforatrice o di scavo in esercizio.

Durante l’esecuzione delle indagini, potranno essere apportate modifiche alle modalità esecutive qualora le circostanze contingenti lo richiedano e solo in seguito ad autorizzazione della Committenza, con cui in ogni caso l’Affidatario è tenuto ad agire in accordo.

Tutte le attività dovranno essere svolte nel rispetto della vigente normativa in materia di sicurezza (D. Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i.); l’Affidatario dovrà pertanto approntare tutte le misure (igienico-sanitarie, di protezione collettiva e individuale, di emergenza, ecc.) necessarie a svolgere in completa sicurezza le varie tipologie di attività, sia per il proprio personale incaricato sia per il personale esterno che potrà essere presente durante l’esecuzione del servizio.

Le attività affidate dovranno essere eseguite con la più moderna strumentazione e con mezzi meccanici di nuova generazione, conformi alla Direttiva Macchine 2006/42/CE e al D. Lgs. n.17/2010 e s.m.i., per mantenere una produttività tale da assicurare la tempestiva ultimazione delle prestazioni richieste, da eseguire a perfetta regola d’arte e secondo le prescrizioni stabilite e di seguito indicate.

Tutte le attività dovranno essere eseguite da personale specializzato, efficacemente istruito e formato all’utilizzo della strumentazione idonea per l’esecuzione delle attività previste, nel rispetto di adeguate procedure di sicurezza. In ogni caso, l’Affidatario dovrà eseguire i servizi con personale tecnico-operativo di provata capacità e idoneo, per numero e qualità, alla perfetta esecuzione delle attività richieste dalla Committenza

Al termine si redigerà una Relazione Descrittiva degli elaborati grafici, così come di seguito specificato:

- tutti i dati dovranno essere forniti in duplice copia sia in versione cartacea che in versione digitale, in formato editabile e in formato non editabile.
- tutte le attività analitiche dovranno essere gestite nel rispetto dei protocolli che assicurano la qualità del dato e tutte le attività previste dovranno essere condotte secondo le procedure di qualità definite dalle norme ISO 9001/2008.

### SONDAGGI GEOGNOSTICI

Considerata l’urbanizzazione che caratterizza il territorio su cui dovranno essere effettuate le indagini si ritiene opportuno, prima dell’esecuzione di qualunque attività, effettuare alcune operazioni preliminari.

Nella fattispecie si procederà ad investigare sullo sviluppo dei sottoservizi nel sottosuolo; pertanto, in corrispondenza dei luoghi dove dovranno essere eseguite le perforazioni, verranno effettuate indagini georadar che consentiranno di evitare danni alle infrastrutture presenti nel sottosuolo durante le operazioni di perforazione e di individuare eventuali cavità.

Nel caso venga accertata la presenza di sottoservizi in corrispondenza delle aree dove effettuare i sondaggi, si procederà a realizzare un pre-scavo, fino alla profondità massima di m 1,5 dal p.c., per l’individuazione e l’esatto rilevamento dei sottoservizi interferenti.

Per delineare il quadro litostratigrafico e le caratteristiche geotecniche dei siti coinvolti dalle nuove linee del Tram si prevedono indagini in sito consistenti nell’esecuzione di sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo; in funzione del volume significativo di sottosuolo coinvolto dalla realizzazione delle opere previste, la profondità d’indagine dei terreni è stata fissata a 5 metri di profondità dal piano stradale nei tratti non interessati

da opere accessorie, e a maggiore profondità (30-50 m) nei siti dove dovranno essere affrontate problematiche geotecniche più complesse.



*Trivella per sondaggi geognostici*

Le perforazioni dovranno essere eseguite nei punti indicati dalla Direzione dei lavori; rimarrà comunque facoltà della Committenza variare la localizzazione di tali indagini in funzione delle maggiori conoscenze e informazioni che saranno acquisite durante la fase esecutiva delle indagini o per sopravvenute nuove esigenze. (vedi Tavole 111-127)

I sondaggi saranno preferibilmente realizzati con una sonda meccanica a rotazione, a carotaggio continuo del diametro di 127 mm e rivestimento a seguire del diametro di 152 mm.

Il campionamento del terreno sarà effettuato avendo cura di procedere con basse velocità di rotazione del campionatore per evitare fenomeni di surriscaldamento del terreno; la scelta della tipologia di carotiere sarà condizionata dalla tipologia dei litotipi presenti.

In linea generale si utilizzerà una sonda semovente cingolata o autocarrata in grado di fornire spinta massima, tiro, coppia massima e di essere attrezzata con aste di perforazione e rivestimenti sufficienti a raggiungere agevolmente la profondità massima prevista di 50 m.

In fase di piazzamento della macchina operatrice dovrà essere curata al massimo la verticalità del foro mediante controlli con livelletta idrica sulla colonna di perforazione.

I diametri saranno scelti sulla base delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti, delle prove da eseguire e della strumentazione da installare; in particolare il diametro minimo a fondo foro dovrà essere sufficiente a prelevare campioni indisturbati del diametro non inferiore a 80 mm, e comunque ad attrezzare il foro con tubo in ABS, PVC pesante di diametro interno di 80 mm.

Laddove le condizioni e le caratteristiche dei terreni non garantiscano una perfetta prosecuzione della perforazione si potrà richiedere, previa esplicita autorizzazione della Committenza, l'impiego di doppi rivestimenti metallici provvisori, uno interno con diametro pari a 127 mm e uno esterno con diametro pari a 151 mm; l'impresa avrà cura di asportare, attraverso adeguate manovre di pulizia a fondo foro, tutto il materiale presente nell'intercapedine tra i due rivestimenti.

La Committenza, potrà modificare in corso d'opera il programma di attività sempre nel rispetto degli obiettivi fissati dal programma.

Di norma, le percentuali di recupero, valutate per ogni singola manovra, non dovrebbero essere inferiori a:

- 70% per i terreni a grana grossa (sabbia, ghiaia, ecc.);
- 80% per i terreni a grana fine (argilla, argilla marnosa, ecc.) e rocce fratturate;
- 90% per rocce compatte in genere (calcari, calcari marnosi, conglomerati, gessi, anidriti, rocce ignee, rocce metamorfiche, ecc.).



Carotiere shelby

Carotiere Osteberg

Carotiere Denison

L'attribuzione dei terreni incontrati alle classi sopra riportate è fatta dal geologo incaricato per l'assistenza di cantiere; qualora il recupero risulti inferiore alle percentuali sopra riportate, a giudizio insindacabile della Committenza potrà essere richiesta una ripetizione dei sondaggi senza alcun aggravio di spesa a carico della stessa; in ogni caso il tratto corrispondente alla percentuale di recupero non sarà computato nella contabilità finale.

Tutta l'attrezzatura di perforazione sarà sottoposta a procedura di decontaminazione, prima dell'inizio delle indagini, tra un sondaggio e l'altro e prima di lasciare il sito.

Le carote, riposte in apposite cassette catalogatrici sigillate, saranno conservate e rimarranno a disposizione per eventuali futuri rilievi.

Tutte le operazioni di perforazione saranno coordinate dal geologo, responsabile tecnico, che redigerà la stratigrafia intercettata segnalando la presenza di eventuali anomalie o livelli contaminati.

Al fine di prelevare campioni idonei ad essere sottoposti ai controlli di tipo ambientale i sondaggi dovranno essere eseguiti utilizzando impiego di carotiere "a semiluna", con carotaggio a secco ed impiego di idropulitrice - con temperatura di 100°

dell'acqua in pressione - per la pulizia delle attrezzature da utilizzare nella stessa perforazione e tra le manovre successive durante le operazioni di carotaggio e/o prelievo campioni.

Utensili non facilmente pulibili (funi, guanti) dovranno essere sostituiti con nuovi al termine di ogni trivellazione.

In particolare si prevede il prelievo dei campioni indisturbati, mediante:

- campionatori a pareti sottili infissi a pressione (tipo Shelby del diametro minimo di 80 mm);
- campionatori a pistone idraulici o meccanici (tipo Osterbeg);
- campionatori rotativi a doppia o a tripla parete con scarpa avanzata (tipo Denison o tipo Mazier modificato).

È prevista un'accurata pulizia del foro di sondaggio con metodi adeguati (carotiere semplice e manovra finale a secco, utensile di spurgo a getto radiale e soprastante calice di raccolta del detrito).

Per il campionatore semplice tipo Shelby la scarpa del tubo campionatore deve avere un tagliente con angolo non superiore a 6°; l'impresa dovrà produrre un'attestazione relativa all'uso di campionatori con i requisiti richiesti. Nel caso di campionatori tipo Denison il campione sarà alloggiato in un tubo in ABS o PVC interno al tubo non rotante e opportunamente paraffinato dopo il recupero; l'entità della sporgenza del tubo interno va concordata con la Committenza

Nel caso di campionatore Mazier modificato il campione sarà alloggiato in un tubo di acciaio inossidabile, cadmiato o comunque trattato; anche in questo caso si procederà alla paraffinatura, inoltre la carota di terreno prelevato non dovrà avere un diametro inferiore a 80 mm.

I tubi campionatori utilizzati dovranno essere nuovi e costituiti in acciaio inox e dotati di tagliente affilato.

L'introduzione del campionatore nel foro di sondaggio deve essere controllata con misure di profondità in modo che, posato il campionatore a fondo foro, si possa verificare la corrispondenza con la profondità precedentemente raggiunta dalla perforazione.

I campioni indisturbati dovranno avere dimensioni non inferiori a 80 mm di diametro e 500 mm di lunghezza.

Il terreno sarà estratto dal carotiere per battitura o tramite l'utilizzo di un pistone che spingerà la carota dalla parte superiore del carotiere stesso.

Il campione dovrà essere conservato nello stesso tubo utilizzato per il prelievo e sigillato mediante tappi a tenuta, previo incollaggio di paraffina fusa alle estremità.

Si procederà quindi all'apposizione sul contenitore di un'etichetta (non degradabile per l'umidità) in cui sono indicati:

- designazione del cantiere - committente - esecutore;
- designazione del sondaggio,
- tipo di campione e numero d'ordine;
- profondità di prelievo (da/a);
- orientamento (alto/basso);
- data di prelievo;
- tipo di campionatore;
- metodo d'affissione del campionatore;
- condizioni di prelievo (presenza d'acqua, energia d'infissione, ecc.).

I campioni devono essere conservati a cura dell'impresa esecutrice in locali idonei, in posizione orizzontale evitando scuotimenti e urti e particolarmente protetti dai raggi del sole, dal gelo e da fonti di calore fino al momento della consegna in laboratorio.

Se durante le indagini saranno riscontrati livelli con evidenze di contaminazione dovrà comunicarsi tempestivamente alla Committenza che, se riterrà opportuno, autorizzerà ad ulteriore campionamento.

Sarà dunque necessario mantenere inalterate le caratteristiche del campione alloggiandolo in apposito contenitore immediatamente dopo la sua estrazione e descrivere, oltre alla stratigrafia, eventuali evidenze visive e/o olfattive di inquinamento.

I campioni prelevati e destinati ad analisi chimica devono essere contraddistinti da cartellini inalterabili che indichino:

- committente;
- cantiere;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;



- profondità di prelievo;
- data di prelievo.

Al termine dell'esecuzione della perforazione e del campionamento, a meno che i sondaggi non debbano essere rivestiti per l'installazione di piezometri, i fori dei sondaggi saranno sigillati utilizzando terreno pulito proveniente da cava.

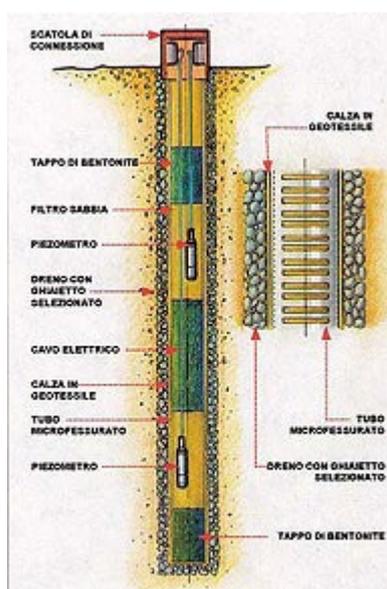
Per i sondaggi profondi (30-50 m), si provvederà all'installazione di piezometri costituiti da un tubo cieco in PVC/HDPE con diametro nominale pari a 101 mm (diametro interno). Il tubo-filtro sarà costituito in PVC/HDPE con diametro nominale pari a 101 mm (diametro interno) e aperture (slots) definite in funzione della granulometria effettiva dell'acquifero da filtrare.

La quota di posizionamento del tubo cieco e della porzione filtrante sarà stabilita in funzione dei risultati della perforazione. La porzione filtrante deve permettere di filtrare tutta la zona satura estendendosi parzialmente, comunque, nella zona insatura in considerazione dell'entità delle fluttuazioni del livello piezometrico.

L'intercapedine perforo-tubazione dovrà essere riempita con materiale di drenaggio costituito da ghiaietto siliceo calibrato in corrispondenza dei tratti filtrati; il diametro del dreno sarà stabilito in corso d'opera sulla base della granulometria effettiva dell'acquifero da filtrare. La costruzione dell'intercapedine dovrà continuare immettendo sabbia per uno spessore di 0,2 m al di sopra del dreno seguita dal tappo impermeabile di bentonite per lo spessore di 0,5 m e riempiendo l'intercapedine con miscela cemento-bentonite fino alla superficie.

La bocca pozzo dovrà essere chiusa da un tappo con guarnizione in gomma a espansione munita di chiusura a chiave (lucchetto), evitando la lubrificazione di questa.

Dopo l'allestimento del piezometro, dovrà essere eseguito lo spurgo dello stesso. Lo spurgo è utile al miglioramento delle caratteristiche idrauliche del sistema piezometro-acquifero.



Piezometro

## PROGRAMMA DI PERFORAZIONE

Al momento della consegna dei lavori l'Affidatario presenterà un programma, articolato fase per fase, dei tempi ritenuti necessari per l'esecuzione dei lavori, il quale indicherà:

- la tecnica di perforazione;
- la profondità;
- i diametri di perforazione iniziale e finale;

- le eventuali prove in avanzamento e i logs;
- il diametro e la natura della tubazione definitiva;
- eventuali quote presunte di cementazione o tamponamento;
- le procedure per stoccaggio e smaltimento dei residui solidi e liquidi;
- ulteriori specifiche per la corretta realizzazione dell’opera.

L’Affidatario dovrà attenersi scrupolosamente a tale programma comunicando tempestivamente le eventuali variazioni che fossero suggerite da difficoltà incontrate o accorgimenti per dare migliore funzionalità all’opera. Non potranno essere attuate varianti al programma se non ordinate o confermate dalla Committenza. Ultimata la perforazione l’Affidatario presenterà alla Committenza la stratigrafia dettagliata dei punti indagati. Sulla base di tali informazioni l’Affidatario produrrà lo schema definitivo di completamento del foro contenente:

- la profondità indagata (tubazione definitiva);
- il diametro del tubo;
- la granulometria del drenaggio e le quote;
- le quote di cementazione e tamponamento;
- la metodologia per lo sviluppo.

## F. PROGRAMMA DETTAGLIATO DELLE INDAGINI EOTECNICHE

### INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per quel che riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche terreni attraversati dalle nuove linee del Tram, si è fatto riferimento ai dati desunti dalla letteratura tecnica e da numerose indagini e prove di laboratorio eseguite su tali terreni; a tale scopo sono stati individuati i principali termini litologici che ricadono nel volume significativo ai fini geotecnici, ai quali si attribuiscono dei parametri orientativi.

### TERRENI DI COPERTURA

#### Terreni di riporto

E’ costituito in prevalenza da detrito calcarenitico e/o calcareo in matrice sabbiosa e subordinatamente limosa, con frammenti lapidei e laterizi; si tratta di depositi incoerenti, normalconsolidati, porosi e dotati di permeabilità medio-alta per porosità.

Le caratteristiche meccaniche di resistenza al taglio e deformabilità saranno stimate sulla base dell’interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT e delle prove geofisiche, in particolare dai valori di velocità delle onde di taglio  $V_s$  potranno essere ricavati il modulo di taglio iniziale ( $G_0$ ) e quello di Young iniziale ( $E_0$ ).

Le caratteristiche meccaniche risultano tipicamente alquanto variabili in funzione della composizione granulometrica del materiale e del grado di addensamento, in prima approssimazione si può stimare una coesione nulla ed un angolo d’attrito compreso fra  $25^\circ$  e  $35^\circ$ , con un valore della massa volumica intorno a  $18 \text{ (kN/m}^3\text{)}$

I valori delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  si attestano tra 100 e 200 m/s, da queste si ricavano i valori del modulo  $E_0=100\div 200 \text{ MPa}$  e  $G_0 = 15\div 50 \text{ MPa}$ .

### DEPOSITI ALLUVIONALI

Sono costituiti dai sedimenti alluvionali fluvio-lacustri che saranno intercettati nella zona della “Cala”, si tratta di terreni normalconsolidati, saturi, compressibili, dotati in generale di scadenti caratteristiche meccaniche; si può stimare orientativamente una coesione nulla ed un angolo d’attrito non maggiore di  $25^\circ$ , con un valore della massa volumica intorno a  $15 \text{ (kN/m}^3\text{)}$ .



## TERRENI DEL SUBSTRATO

### Complesso calcarenitico-sabbioso

Tali terreni si articolano in una vasta gamma di rocce tenere e terre incoerenti, con frequenti variazioni sia laterali che verticali; il comportamento meccanico infatti è alquanto variabile da quello tipico di materiali non coesivi a quello delle rocce lapidee.

Per i litotipi incoerenti possono stimarsi valori dell'angolo d'attrito compresi fra  $30^\circ$ ÷ $45^\circ$  mentre per i litotipi cementati si può stimare una coesione compresa tra 20 e 50 kPa, in relazione al grado di cementazione.

Relativamente ai parametri di deformabilità dalle indagini sismiche eseguite sui litotipi incoerenti sono attesi valori di velocità delle onde di taglio  $V_s$  compresi fra 200 e 400 m/s, da cui si stimano valori del modulo di deformazione elastico iniziale ( $E_0$  di 250÷800 MPa).

Per i termini calcarenitici le indagini sismiche restituiscono generalmente valori di  $V_s$  compresi fra 300 e 450 m/s, da cui si stimano valori del modulo di deformazione elastico iniziale  $E_0$  di 500-1000 MPa.

In ogni caso si ribadisce l'estrema variabilità delle caratteristiche meccaniche in funzione della composizione granulometrica e del grado di cementazione.

### Argilla grigio-azzurre

Si tratta di depositi limoso-sabbioso argillosi, e sabbie limose che si trovano generalmente al di sotto del litotipo calcarenitico. La massa volumica è generalmente compresa fra 17 e 20 kN/m<sup>3</sup>. Possono stimarsi valori dell'angolo d'attrito compresi fra  $20^\circ$ ÷ $30^\circ$  con bassi valori della coesione.

### Argille del Flysch Numidico

Si tratta di una formazione a struttura complessa costituita da argilla marnosa di colore grigio generalmente molto consistente, con struttura brecciata o scagliettata.

Le scaglie hanno orientazione variabile così come il grado di interconnessione.

Le caratteristiche sopradette conferiscono una notevole variabilità ai valori ai valori della resistenza al taglio; i valori della coesione si disperdono infatti un range molto ampio, da valori nulli fino a 100 kPa, con valori dell'angolo d'attrito anche maggiori di  $30^\circ$ .

Sono attesi valori di velocità delle onde di taglio  $V_s$  tra 300 e 500 m/s da cui si stimano valori del modulo di deformazione elastico iniziale  $E_0 = 500$ ÷ $1000$  MPa. La massa volumica è generalmente pari a 20÷22 kN/m<sup>3</sup>.

## PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sono state previste prove geotecniche sia in sito che in laboratorio.

La tipologia delle prove da eseguire è stata scelta sulla base delle caratteristiche litotecniche dei terreni attraversati e delle problematiche geotecniche.

Nell'ambito dei sondaggi geognostici è stata prevista l'esecuzione di prove del tipo **SPT (Standard Penetration Test)**, atte a caratterizzare i litotipi a granulometria grossolana (sabbie e ghiaie) il cui campionamento al fine di ricavare campioni idonei ad essere sottoposti prove di laboratorio è estremamente difficoltoso.

Tale evenienza è riferibile in particolare al complesso Calcarenitico-sabbioso, laddove le prove in sito sopradette appaiono le più idonee alla caratterizzazione geomeccanica.

Le prove saranno effettuate a profondità diverse ed in ogni caso laddove si riscontrassero cambi di litologia lungo la perforazione.

Sul fondo foro opportunamente pulito, dovrà essere infisso a percussione un campionatore di forma e dimensioni standard (tipo Raymond) attraverso il quale, in base al numero dei colpi (N) necessari alla penetrazione di 45

cm, misurati separatamente in tre tratti di 15 cm ciascuno, sia possibile valutare orientativamente lo stato di consistenza dei terreni.

La percussione dovrà essere effettuata secondo le modalità contenute nella norma ASTM n° D 1586/67.

Se la prova interesserà terreni molto compatti o ghiaiosi, su parere del geologo di cantiere, l'Impresa potrà impiegare, al posto della scarpa del campionatore sopra descritto, una punta conica del diametro di 51 mm e di 60° di apertura angolare.

Per la prova dovrà essere usato un campionatore Raymond di lunghezza 711 mm, diametro esterno di 50,8 mm, diametro interno 34,9 mm ed un dispositivo di guida e di sgancio automatico del maglio, di peso 63,5 kg, che assicuri una corsa a caduta libera di 0,76 m.

Le aste di perforazione non dovranno superare il peso di 10 kg/ml.



Prova SPT

L'impresa dovrà conservare il campione estratto dal campionatore trasferendolo dal tubo di campionamento in contenitori di plastica, contrassegnati con etichetta.

Nei sondaggi eseguiti per la realizzazione del viadotto per l'attraversamento del fiume Oreto sono state previste prove di permeabilità del tipo **Le Franc** e **Lugeon** per la determinazione della conducibilità idraulica dei terreni e/o delle rocce.

La **Prova Lefranc** è una prova di tipo puntuale da eseguire in fase di avanzamento della perforazione ed interessa singoli strati di terreno per spessori compresi fra qualche centimetro e 1-2 m, situati al di sotto della falda.

Con questa prova si misura la conducibilità del terreno idraulica del terreno nell'intorno del foro.

La prova sarà eseguita secondo quanto dettato dalle norme "Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche" emanate dall'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I., 1977)

Misure di permeabilità sopra il livello di falda sono teoricamente possibili dopo avere saturato il terreno con acqua, ma l'interpretazione oltre che difficoltosa risulta affetta da maggiori incertezze; le prove sono pertanto eseguite a fondo del foro di sondaggio.

Nel caso in cui si vogliano eseguire misure a diverse profondità occorre interrompere, ogni volta, il sondaggio. La prova è eseguita instaurando un dislivello piezometrico tra l'interno del foro, dove è stata realizzata la sezione filtrante, e l'esterno.

Il moto di filtrazione che ne segue è diretto dal foro verso l'esterno (prova d'immissione) o dall'esterno verso il foro (prove di ritorno).

Ovviamente, le prove di ritorno possono essere eseguite solo sotto falda. Le prove possono essere eseguite:

- a) a carico idraulico costante (nel caso di terreni con più elevata conducibilità), effettuata mantenendo costante il dislivello piezometrico e misurando la portata;
- b) a carico idraulico variabile (nel caso di terreni con conducibilità non elevata), effettuata instaurando un dislivello iniziale e registrando nel tempo le variazioni di altezza.

La preparazione del tratto di terreno sarà effettuata secondo il tipo di schema prescelto:

a) prova su fondo filtrante piano:

- perforazione con carotiere fino alla quota di prova;
- infissione del rivestimento a secco negli ultimi 20-30 cm per bloccare l'eventuale flusso dell'acqua;
- esecuzione della pulizia del foro.

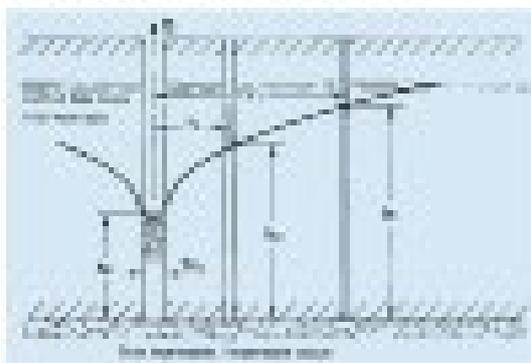
b) prova con filtro cilindrico:

- perforazione con carotiere fino alla quota di prova;
- rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, senza uso di fluido almeno negli ultimi 100 cm di infissione;
- inserimento, nella colonna di rivestimento, di ghiaia molto lavata, fino allo spessore di 60 cm dal fondo del foro (solo nel caso di terreni che tendono a franare o a rifluire);
- sollevamento della batteria di rivestimento di 50 cm, con solo tiro della sonda o comunque senza fluido di circolazione.

Per la determinazione della permeabilità al di sopra del livello della falda freatica, le prove dovranno essere precedute da una fase di saturazione, che potrà considerarsi conclusa quando si raggiunga, in condizioni di portata immessa costante, la stabilità del livello dell'acqua all'interno del foro; tale fase di saturazione, comunque, non potrà avere durata inferiore a 30 minuti.

$$K = \frac{Q}{A} \frac{L}{h_1 - h_2}$$

La spiegazione dei simboli è riportata nella figura.



Schema prova di permeabilità LEFRANC

La **Prova Lugeon** si esegue per valutare l'attitudine di un ammasso roccioso a consentire la circolazione d'acqua e si esegue iniettando acqua in pressione in un tratto isolato del foro di sondaggio; poiché l'acqua nell'ammasso circola attraverso le discontinuità, la misura è un indice indiretto del grado di fratturazione dalla roccia.

Il parametro di assorbimento che si ricava dalla prova è espresso in Unità Lugeon.

Il tratto di foro da isolare per la prova può essere realizzato in avanzamento, oltrosia col procedere della perforazione oppure in risalita cioè a foro ultimato. Nel primo caso è sufficiente inserire un pistoncino (packer) espandibile immediatamente sopra il fondo del foro. Nel secondo caso, si può selezionare il tratto di foro da

sottoporre a prova e isolarlo con due pistoncini all'estremità.

Il metodo in avanzamento garantisce un miglior controllo della tenuta dei packers, mentre il metodo in risalita è più economico e consente di scegliere il tratto da sottoporre a prova.

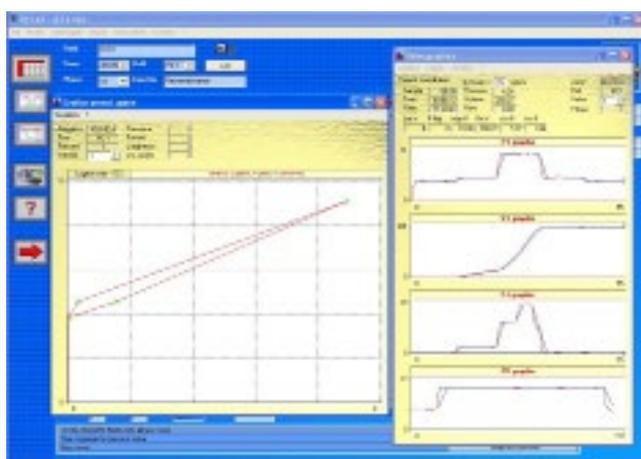
Il tratto di prova deve avere lunghezza da 1 m a 5 m. E' anche possibile superare i limiti in ragione del grado di fatturazione dell'ammasso roccioso. In ogni caso occorre che sia  $L > SD$ . Per garantire la buona tenuta dei packers è necessario che il foro non presenti irregolarità. Pertanto il foro andrà eseguito con corone adeguate al tipo di litotipi presenti e/o usando opportuni alesatori.

L'esecuzione della prova richiede la seguente attrezzatura:

- otturatore singolo ad espansione idraulica o meccanica, per prove in avanzamento;
- otturatore doppio a membrana espandibile idraulicamente o ad azoto, per prove in risalita; il tubo di collegamento dei due pistoncini espandibili avrà una superficie forata  $A_f > 2A_t$ , essendo  $A_t$  la superficie della sezione cava del tubo; di norma si utilizzeranno packers di tipo pneumatico assicurandosi che la pressione di gonfiaggio sia di almeno 0,2-0,3 MPa superiore a quella d'iniezione dell'acqua. La membrana di tenuta dei packers deve avere sufficiente lunghezza;
- pompa centrifuga in grado di raggiungere pressioni di iniezioni di 1 MPa e portate elevate; in genere una pompa che eroghi sino a 25 l/s per pressioni di 0,4 MPa è da considerarsi adeguata; sono da preferirsi pompe a centrifuga rispetto a quelle a pistone per garantire una pressione costante;
- conta litri per la misura delle portate immesse, inserito nel circuito di mandata, con sensibilità di 0,1 litri;
- manometro, posto sulla verticale del foro, per la misura della pressione di iniezione, con sensibilità di 0,5 atm e certificato di taratura non anteriore a 3 mesi;
- tubi di adduzione di tipo idraulico;
- eventuale circuito indipendente di misura delle pressioni, collegato alla camera isolata per la prova, con manometro tarato.

Le perdite di carico (per correggere le misure del manometro) possono essere stimate da opportuni abachi o misurate direttamente in cantiere. L'impiego di trasduttori di pressione inseriti nella camera d'iniezione, rendono superflua la stima delle perdite di carico e offrono la possibilità di registrare i dati in automatico. È importante definire il livello della falda statica e accertarsi che le pompa non aspiri aria.

Il conta litri dovrà essere tarato anche in situ prima di iniziare le prove, riempiendo un contenitore di volume noto e superiore a 100 l. Le perdite di carico nei tubi di adduzione, in assenza di un circuito indipendente di misura delle pressioni, saranno valutate in situ con il metodo di un tubo campione, posto orizzontalmente in superficie e collegato alla pompa con l'interposizione del manometro.



*Interpretazione prova di permeabilità LUGION*

### Prova in avanzamento con otturatore singolo

Se non diversamente richiesto dalla Direzione Lavori (D.L.), le prove saranno effettuate in avanzamento con otturatore singolo. L'otturatore sarà calato nel foro, privo di rivestimento, dopo avere misurato il livello del fluido nel sondaggio con sonda piezometrica. Il fluido di perforazione sarà acqua priva di additivi.

L'otturatore deve essere espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza massima di 5 metri. Si procederà ad iniettare acqua a pressione costante nel tratto di prova, eseguendo 3 (o più) diversi gradini di pressione in salita e ripetendo gli stessi per i primi 2 m in discesa, misurando per ciascun gradino le portate assorbite che determinano la stabilizzazione dell'assorbimento raggiunto. Ciascun gradino di portata (a regime) sarà mantenuto per almeno 20 minuti in salita e discesa.

La fase di misura sopra descritta è preceduta da iniezioni per 10 minuti a pressioni inferiori.

La scelta del valore dei gradini di pressione dipenderà dal tipo di ammasso roccioso e dagli specifici obiettivi progettuali delle prove, e dovranno essere concordato con la D.L..

Non saranno superati, comunque, i valori massimi di 1 MPa, e solo nei casi di elevata resistenza meccanica della matrice rocciosa. In condizioni di prova effettuata a scarsa profondità in rocce poco resistenti, solo litoidi o semilitoidi, è preferibile non superare pressioni di 0,3 MPa, mentre in rocce mediamente resistenti non si supererà la pressione di 0,5 MPa. Nella Tabella seguente sono riportati i gradini di pressione da utilizzare in prova in relazione al tipo di roccia.

Gradini di pressione in funzione delle condizioni di prova

Condizioni di prova	Gradini di pressione (MPa)
Rocce semilitoidi, litoidi o litiche a scarsa resistenza, a profondità inferiore a 5 m dal p.c.	0,05 – 0,15 – 0,25 – 0,15 – 0,05
Rocce a scarsa resistenza	0,1 – 0,2 – 0,3 – 0,2 – 0,1
Rocce a media resistenza	0,1 – 0,3 – 0,5 – 0,3 – 0,1
Rocce ad alta resistenza	0,2 – 0,4 – 0,8 – 0,4 – 0,2

La portata è misurata ogni 2 minuti verificando che non vari di oltre 0,1 l/s. Aumenti bruschi della portata segnalano l'insorgere di fenomeni di fratturazione idraulica. In questo caso la prova può essere sospesa. In assenza di fratturazione idraulica la prova può essere spinta sino a pressioni di 1,25 MPa.

Durante la prova si provvederà a mantenere il foro di sondaggio pieno d'acqua, per osservare la perfetta tenuta idraulica dell'otturatore, resa evidente dall'assenza di variazioni di livello. Nel caso di perdite la prova sarà sospesa e successivamente ripresa solo dopo avere apportato i necessari interventi correttivi.

Qualora lo stato delle rocce fosse tale da non assicurare la tenuta dell'otturatore, le prove saranno eseguite in avanzamento, previa cementazione e riperforazione del tratto di foro al di sopra della prova, in modo da creare una superficie adatta a impedire perdite idriche.

Particolare cura deve essere posta nella collocazione del manometro che deve essere installato direttamente sui tubi che sostengono il pistoncino, in modo da evitare perdite di carico.

Il geologo di cantiere è tenuto a registrare su appositi moduli i seguenti dati:

- numero e diametro del foro di sondaggio in cui si esegue la prova;
- profondità del fondo foro dal p.c.;
- profondità del pistoncino dal p.c.;
- diametro dei tubi di immissione dell'acqua;
- altezza del manometro dal p.c.;
- eventuale cementazione eseguita.

Durante l'esecuzione della prova il geologo dovrà registrare i seguenti dati:

- il tempo e gli assorbimenti necessari per arrivare a regime;
- il tempo e gli assorbimenti con portata a regime per letture effettuate ogni 2 minuti.

Si dovrà tracciare il grafico delle portate (l/min/m) in funzione delle pressioni in camera di iniezione (MPa), per ciascun gradino in andata e ritorno.

### **Prova in risalita con otturatore doppio**

Se richiesto dalla D.L., le prove potranno essere eseguite in risalita con l'applicazione di otturatore doppio, con modalità identiche a quanto precedentemente descritto. In questo caso particolare cura dovrà essere posta nel garantire la tenuta del pistoncino a espansione inferiore, il cui comportamento non può essere osservato durante la prova.

Per l'esecuzione di prove fino a 90 m di profondità devono essere utilizzate le seguenti attrezzature:

- doppio packer completo di linee idrauliche di alimentazione dei packers stessi e delle sezioni di prova;
- pompe idrauliche con pressione massima pari a 7 MPa;
- misuratori di flusso;
- manometri e trasduttori di pressione.

Nel foro di diametro compreso tra 60 e 120 mm deve essere calato un doppio packer, collegato alla superficie mediante linee idrauliche o tramite azoto, che consente di isolare il tratto di foro interessato.

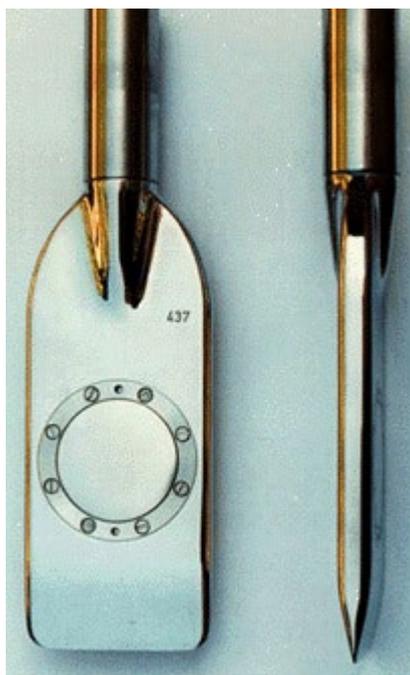
Si deve procedere, quindi, alle misure della pressione di iniezione (con manometro posto in testa alla tubazione di immissione), della portata immessa (con contatori a mulinello) e del tempo di durata della prova dopo il raggiungimento delle condizioni di regime.

Si devono, inoltre, effettuare prove con almeno 5 diversi valori di pressione di iniezione e ciascun valore della pressione deve essere mantenuto costante per almeno 10 minuti dopo il raggiungimento della stabilizzazione degli assorbimenti (regime di equilibrio).

La documentazione relativa a ciascuna prova comprenderà:

- informazioni generali con individuazione del sondaggio all'interno del quale è stata eseguita la prova;
- schema della geometria del foro, delle modalità di prova e posizione della cella filtrante;
- livello statico della falda;
- tabulato delle letture di cantiere (tempi, portate, pressioni al manometro);
- grafico della pressione effettiva in camera di prova;
- assorbimento d'acqua, per ciascun gradino di pressione, espresso in unità Lugeon (UL);
- copia del certificato di taratura del manometro o del trasduttore di pressione, non anteriore a sei mesi dalla data di esecuzione della prova.

Relativamente alle indagini da eseguire per la realizzazione del ponte sul fiume Oreto, si prevede di eseguire anche **Prove dilatometriche** per la determinazione in situ del modulo di deformabilità statico dell'ammasso roccioso. Dopo aver inserito nel foro la sonda alla quota opportuna si realizzano i collegamenti tra sonda, centralina di misura, e dispositivo di pressurizzazione. I valori di pressioni dei gradini di misura e l'apertura dei trasduttori vengono memorizzati, da centralina di acquisizione e successivamente scaricati su PC ed utilizzati per l'elaborazione della prova stessa. L'operatore fornisce una pressione iniziale minima tale per cui la membrana



Dilatometro

possa aderire completamente alle pareti del foro. Dopo aver atteso qualche minuto, si inizia la prova che consiste nell'applicazione di tre cicli completi di carico e scarico; i gradini e i tempi di attesa vengono scelti in funzione delle condizioni del materiale roccia in esame. In particolare la pressione massima del terzo ciclo viene mantenuta per almeno dieci minuti, con lo scopo di osservare il creep del materiale roccia. Al termine di ciascuna prova, dopo aver depressurizzato completamente il dilatometro, si procede a riposizionare la sonda alla quota prevista per la prova successiva.

### PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Nei litotipi coesivi si prevede, nel corso delle perforazioni, di estrarre campioni indisturbati sui quali saranno effettuate prove di identificazione (determinazione del contenuto d'acqua, massa volumica, massa volumica dei grani, analisi granulometrica, limiti di Atterberg) e prove meccaniche (prove edometriche, prove di taglio diretto, prove ELL, prove di compressione triassiale), per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate e non drenate e i parametri di compressibilità.

Laddove si intercettassero litotipi lapidei saranno prelevati campioni da sottoporre a prove di identificazione e prove di compressione uniassiale anche con determinazione dei moduli di deformabilità.

I campioni accompagnati da opportuni documenti di trasporto dovranno essere conservati in ambiente idoneo in attesa che vengano eseguite le prove.

Sarà compito del geologo responsabile, informato sulle caratteristiche progettuali, scegliere opportunamente le profondità di prelievo confacenti alle esigenze degli interventi ed alle problematiche geotecniche.

Le analisi geotecniche dovranno essere effettuate da laboratori autorizzati con certificazione di cui all'art. 59 del D.P.R. 6.6.2001 n. 380 e s.m.i., rilasciata ai sensi della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n. 7618 dell'8/9/2010.

Le prove dovranno essere effettuate facendo riferimento alle più importanti normative nazionali e internazionali esistenti (C.N.R. - U.N.I. - A.S.T.M. - B.S.) e alle raccomandazioni A.G.I..

## INDAGINI GEOFISICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Nella valutazione del rischio sismico delle aree dove si prevede la realizzazione di manufatti il parametro “rigidità sismica” assume importanza rilevante.

L’incidenza dei danni infatti dipende dalla propagazione delle onde sismiche al passaggio tra il basamento rigido ed i terreni di copertura; il passaggio di un’onda sismica dal substrato rigido allo strato deformabile provoca un’amplificazione del moto sismico, con possibili danni di varia entità sul costruito.

Il sottosuolo della piana di Palermo è costituito, come detto in precedenza, da un bedrock rigido individuabile nelle argille sovraconsolidate del Flysch Numidico e nelle Calcareni quaternarie.

Tali terreni sono localmente sormontati da depositi alluvionali e materiali antropici.

Situazioni geologiche sfavorevoli, che si riscontrano localmente in porzioni delle nuove tratte, sono la presenza di cavità sotterranee di natura antropica e i depositi alluvionali sormontati da terreni di riporto che colmano le antiche depressioni vallive, oltre ai riempimenti dei fossati della cinta muraria cinquecentesca.

Inoltre possibili criticità possono emergere al contatto fra litotipi a differente comportamento reologico.

Nello specifico (vedi Carta della Pericolosità Sismica in allegato) la tratta D a sud del fiume Oreto si svilupperà sulla formazione calcarenitica ricoperta da terreni antropici di spessore variabile ma in ogni caso non particolarmente rilevante in tale zona.

La stessa tratta attraverserà la depressione valliva dell’Oreto con un viadotto e il tratto finale in aree con possibile presenza di cavità antropiche sotterranee; si segnala che sulle sponde del Fiume Oreto sono stati censiti alcuni dissesti localizzati sulle sue sponde dovuti a fenomeni di erosione accelerata che possono essere attivati in caso di sisma.

La tratta A e la tratta F attraverseranno l’area di affioramento dei depositi alluvionali sormontati da terreni di riporto che colmano le antiche depressioni vallive del Papireto e Kemonia; una porzione delle stesse tratte attraverserà aree con possibili cavità antropiche; inoltre tratta A in prossimità di piazza Castelnuovo attraverserà un’area dove si registra il contatto tra litologie diverse.

La tratta E a partire da piazza De Gasperi fino all’altezza di viale Francia attraverserà aree con possibili cavità antropiche, inoltre nell’area di Mondello insisterà sui terreni palustri dell’antico Planum Galli.

La tratta G nella sua porzione finale verso Sferracavallo attraverserà un’area caratterizzata dal contatto tra litologie a differente comportamento reologico.

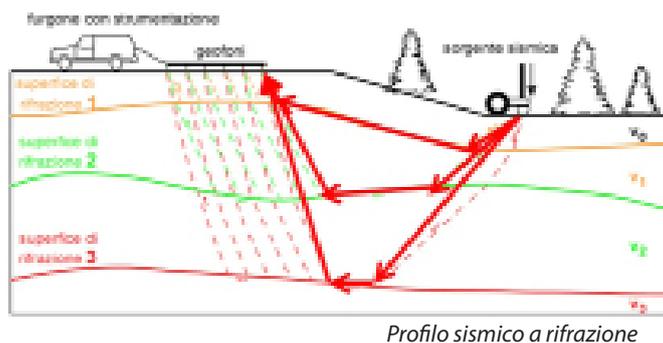
In generale le aree dove sono assenti significativi spessori di materiali di copertura sono quelle meno esposte all’amplificazione del moto; i valori massimi della risposta dinamica si registreranno pertanto nelle tratte A e F che attraversano l’area di colmata dell’antico porto dove avevano la foce i torrenti Kemonia e Papireto, caratterizzata da una configurazione a conca dei sedimenti alluvionali supportati da un basamento rigido formato dal Flysch Numidico.

Tale configurazione costituisce un modello estremamente favorevole per una amplificazione della risposta sismica locale a causa del contrasto di rigidità tra il bed-rock e la copertura poco addensata e molto comprimibile.

### Profili sismici a rifrazione

È una metodologia geofisica di rilevazione che consente di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008) e di conseguenza condurre un’analisi della risposta sismica del suolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 14 gennaio 2008). Tale metodologia si basa sull’analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) ed è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio VS. L’indagine sarà condotta mediante l’utilizzo di sismografo 24 bit 24 canali, strumento progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves);

La relazione di indagine riporterà la determinazione delle velocità delle onde di taglio VS alle varie profondità, il valore medio nel tratto 0-30 m e la conseguente categoria di suolo.



Profilo sismico a rifrazione

### Prove sismiche passive HSRV

Per caratterizzare i terreni del sottosuolo ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto in ottemperanza alle "Norme tecniche per le costruzioni", D.M. Ministero Infrastrutture del 14/01/2008, capitolo 3 Azioni sulle Costruzioni, punto 3.2.2, "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche", si prevede l'esecuzione di prove sismiche di tipo passivo mediante tomografo a stazione singola.



Apparecchiatura per indagine sismica passiva, tipo HSRV

Le prove suddette saranno eseguite lungo i tracciati del Tram in corrispondenza dei sondaggi geognostici, ciò al fine di fissare un vincolo, conoscendo lo spessore del primo strato, per la ricostruzione del modello sismico del sottosuolo ai fini del calcolo del  $V_{s30}$ .

La tecnica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del "Rumore Sismico Ambientale" (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali; questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi) non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo, pertanto le acquisizioni di sismica passiva difficilmente vengono "sporcate" da interferenze esterne poiché sfruttano come sorgente quella porzione del segnale sismico che altre tecniche considerano un disturbo.

Il metodo è molto utile per una rapida individuazione del substrato sismico nelle problematiche legate alla risposta di sito; analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale ( $f$ ) di questa vibrazione.

Inoltre non necessitando di stendimenti occupano una superficie assai ridotta e non richiedono quindi interruzioni del traffico veicolare.

La relazione finale fornirà inoltre i seguenti grafici:

- Rapporto spettrale tra la componente orizzontale e verticale del rumore sismico (H/V);
- Grafico H/V Time history;
- Grafico relativo agli spettri delle singole componenti N-S, W-E, Up-Down;
- Grafico di comparazione tra curva sperimentale e curva di sintesi



Restituzione prova sismica HSRV

### Prove sismiche tipo Down-Hole

Le prospezioni sismiche in foro consistono nella misura in situ delle velocità di propagazione delle onde di compressione P e delle onde di taglio S. Tali grandezze sono indice delle proprietà meccaniche di rocce e terreni e consentono di caratterizzare successioni litostratigrafiche dal punto di vista geotecnico e della risposta sismica. Questo tipo di misure viene effettuato ogni qualvolta sia necessaria una dettagliata ed accurata conoscenza delle caratteristiche elastiche dei litotipi presenti nel sottosuolo ovvero quando si vuole integrare altri tipi di dati sismici (o in generale geofisici) per restringere l'insieme dei modelli del sottosuolo che costituiscono possibili risultati interpretativi. Il metodo Down Hole (DH) si riferisce alla misurazione del tempo di percorso delle onde P ed S nel tragitto tra la sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di fori di sondaggio opportunamente predisposti.



Schema di prova Down Hole

L'ancoraggio dei sensori può essere eseguito mediante sistemi pneumatici o attraverso sistemi elettrici. In entrambi i casi, bisogna essere certi che durante la registrazione dei segnali, i ricevitori siano solidali con il foro. L'acquisizione dei dati si articola in due fasi: generazione ed acquisizione delle onde di compressione P e delle onde SH, mediante la tecnica dell'inversione di fase.

L'analisi dei dati sismici provenienti da una prova Down Hole, consiste nel diagrammare i tempi di tragitto, misurati

lungo il percorso sorgente-ricevitore, in funzione della profondità, determinando la velocità verticale dei litotipi incontrati nella perforazione ed i loro moduli elastici.

Per avere una valutazione del grado di disomogeneità degli strati vengono determinate anche le velocità di intervallo  $V_i$ , cioè le velocità con le quali viaggerebbe il fronte d'onda lungo l'asse verticale tra due posizioni consecutive di campionamento.

Mettendo in un grafico, sia per le onde di compressione che per quelle di taglio, i valori di velocità così determinati in funzione della profondità si ottiene un grafico che evidenzierà il grado di disomogeneità dei litotipi attraversati dalla perforazione.

La determinazione della velocità delle onde di compressione P e delle onde di taglio S, permette di stimare i moduli elastici dinamici. In particolare:

- Il coefficiente di Poisson dinamico, infatti tra i moduli elastici dinamici il coefficiente di Poisson è l'unico che può essere determinato senza una stima della densità, ma soltanto conoscendo il rapporto  $V_p/V_s$ .
- Il modulo di taglio dinamico, fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturi di acqua, ma il campo di variabilità è ampio.
- Il modulo di Young dinamico e il modulo di incompressibilità; il modulo di Young dipende dalla porosità, dalla pressione litostatica e dagli altri moduli elastici. Il suo valore aumenta in misura considerevole quando al campione secco. I minimi valori si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi sono associati a litotipi sotto pressione saturi di acqua e caratterizzati da una bassa porosità.

### INDAGINI GEORADAR PER LA MAPPATURA DI SOTTOSERVIZI

Le indagini per la mappatura dei sottoservizi saranno eseguite mediante GEORADAR utilizzando il metodo elettromagnetico impulsivo.

Il georadar è uno strumento che consente di rilevare le informazioni relative alla posizione nello spazio di un oggetto.

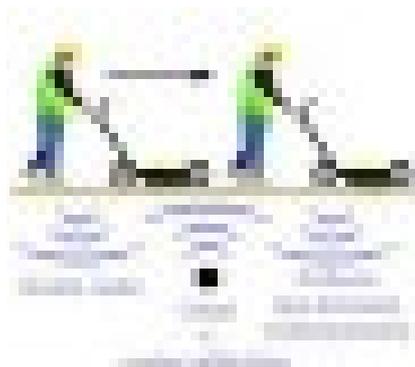
Ciò viene realizzato per mezzo del confronto tra un segnale di riferimento emesso da un trasmettitore di onde elettromagnetiche e quello riflesso dall'oggetto da localizzare, se questo può funzionare come bersaglio su cui avviene la riflessione delle onde elettromagnetiche.



*Apparecchiatura per indagini georadar*

Per il suo funzionamento il georadar sfrutta i fenomeni fisici (soprattutto la riflessione, ma anche la rifrazione e lo “scattering”) che incidono sull'onda elettromagnetica che si propaga nel terreno, quando essa incontra una discontinuità (cavità, tubazione, variazione litologica, ecc.) legata a variazioni delle proprietà elettriche e magnetiche dei terreni o dei materiali attraversati, e soprattutto a variazioni della permittività; queste ultime, a loro volta, dipendono in notevole misura dal diverso contenuto d'acqua nei terreni.

L'indagine è finalizzata ad accertare la presenza di sottoservizi, cavità, camminamenti, presenza di elementi che potrebbero essere di intralcio all'esecuzione degli interventi previsti in progetto.



*Schema di acquisizione*

Il georadar è schematicamente costituito da:

- l'unità di controllo (alimentata da una batteria) alla quale, sono collegate le antenne per mezzo di cavi con particolari caratteristiche;
- due antenne che hanno la funzione di inviare impulsi elettromagnetici e captare i segnali riflessi o rifratti;
- l'unità di acquisizione, visualizzazione e di archiviazione dei dati raccolti.

Il sistema è detto “bistatico” cioè l'unità di controllo è collegata a due antenne contemporaneamente, che funzionano alternativamente da trasmettenti e da riceventi. Questo sistema di ultima generazione, detto anche R.S.A.D. è molto simile alla tecnica del SONAR utilizzato per i rilievi batimetrici del fondo marino.

Le antenne, possono essere trasportate sul terreno da un operatore, lungo i profili di indagine; la strumentazione è dotata di un monitor mediante il quale possono essere visualizzati in tempo reale i segnali, sia durante l'acquisizione sia dopo la registrazione.

La strumentazione che sarà utilizzata consiste in un'unità di acquisizione IDS Opera Duo e in due antenne radar con frequenze principali da 250 e 700 MHz.

La tecnica di misura adottata è la cosiddetta “single fold”, che consiste nel trascinare un unico involucro (contenente i quattro dipoli – due trasmettenti e due riceventi) lungo il profilo che si vuole indagare.

Per avere i riferimenti spaziali, vengono registrati nel radargramma, con un opportuno marker elettronico, le tracce corrispondenti al passaggio dell'antenna in determinati punti del profilo, posti ad intervalli regolari.

Allo scopo di ottimizzare il segnale, durante l'acquisizione saranno utilizzati filtri di frequenza passa banda del tipo Butterworth, funzioni di guadagno, intervalli di registrazione e parametri di stacking orizzontale opportunamente scelti.

La metodologia per la mappatura dei sottoservizi presenti sotto la sede tramviaria consisterà nell'effettuare profili trasversali all'asse tramviario – generalmente ogni 50 metri - per individuare i sottoservizi sia relativamente allo sviluppo planimetrico che alla profondità di posa; successivamente verranno eseguiti profili longitudinali in numero sufficiente per individuare gli allacci delle varie utenze.

Lo schema suddetto potrà essere modificato ed infittito a causa della presenza di ostacoli o per analizzare con maggior dettaglio aree particolarmente complesse (diramazioni delle linee principali, presenza di camere di manovra).

Ogni singola sezione riporterà sull'asse delle ascisse i valori della lunghezza mentre su quello delle ordinate la profondità; le intensità di riflessioni saranno ben riconoscibili con scale di colore o con differenti tonalità di grigio.

Tutte le acquisizioni verranno georeferenziate con GPS (Stonex S9 Plus) con risoluzione del centimetro per potere ubicare su carta tecnica le linee di acquisizione e quindi i sottoservizi individuati; in questa fase verranno "battuti" punti di riferimento per operare le correzioni geometriche delle carte tecniche che spesso non coincidono perfettamente con la realtà. Infine, se necessario potranno essere effettuate ispezioni nei tombini con sonda videoendoscopica da 20 metri, così da fornire informazioni su aree particolarmente complesse o non accessibili alle sonde radar. La profondità massima d'indagine è di circa 9.0 m dal p.c..

### INDAGINI SPECIFICHE PER IL PONTE SUL FIUME ORETO

Lo Studio di Fattibilità redatto dalla Amministrazione Comunale prevedeva due possibili soluzioni per l'attraversamento stabile del fiume Oreto sulla via di comunicazione tra il quartiere di Bonagia e il polo Ospedaliero.

La sezione dell'impalcato prevede una sede tranviaria a doppio binario, le strade ad essa laterali e i percorsi pedonali e le piste ciclabili; L'opera attraversa la valle dell'Oreto alla quota delle zone pianeggianti che si affacciano ai suoi bordi (circa 45m lmm). Questa valle è una zona di grande valore naturalistico, miracolosamente preservato all'interno di un contesto fortemente urbanizzato. Il tema di partenza del progetto del ponte è quello di realizzare una struttura con interferenze minime con questo ecosistema sia in fase finale, ma anche durante la costruzione. Da qui la necessità di una campata unica di 180 m con un piano viabile a circa 30 m sopra il fondovalle. Un altro aspetto caratterizzante il progetto è la notevole larghezza dell'impalcato con conseguenti alti livelli di carichi permanenti e accidentali.

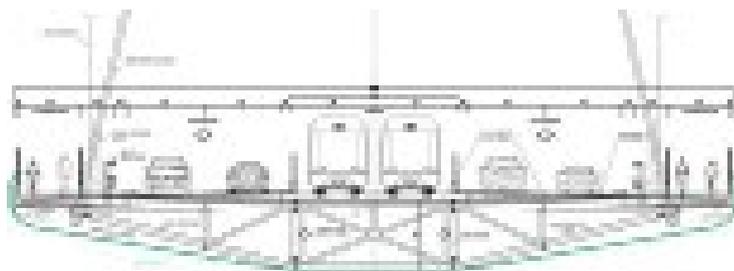
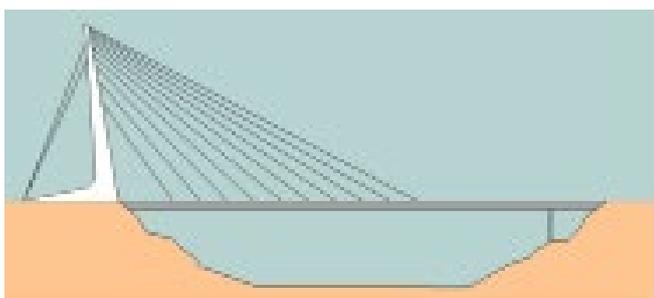
Sono state preliminarmente esaminati due differenti schemi statici:

#### 1) Ponti strallati, con stralli collegati ai lati dell'impalcato.

Appartengono a questa categoria strutture di forte impatto visivo realizzate con una o due torri simmetriche o asimmetriche. La luce dell'attraversamento, seppur notevole, consente la realizzazione di una unica torre.

Per il posizionamento della torre è stata prescelta il lato destro orografico, dove gli edifici esistenti sono più distanti della spalla, in contrasto con la figura evocativa di questa tipologia di strutture che richiede la torre porta stralli dal lato del centro urbano.

Inoltre per evitare stralli lunghi e sub orizzontali, che inducono oscillazioni della struttura e la necessità di irrigidimenti trasversali, è possibile sostenere solo una porzione dell'impalcato con stralli appoggiando la parte opposta dell'impalcato su una pila-lama. Dal primo predimensionamento la torre che regge gli stralli risulta di notevole altezza (70m).



Sezione longitudinale e sezione trasversale del ponte strallato

#### 2) Ponti ad arco.

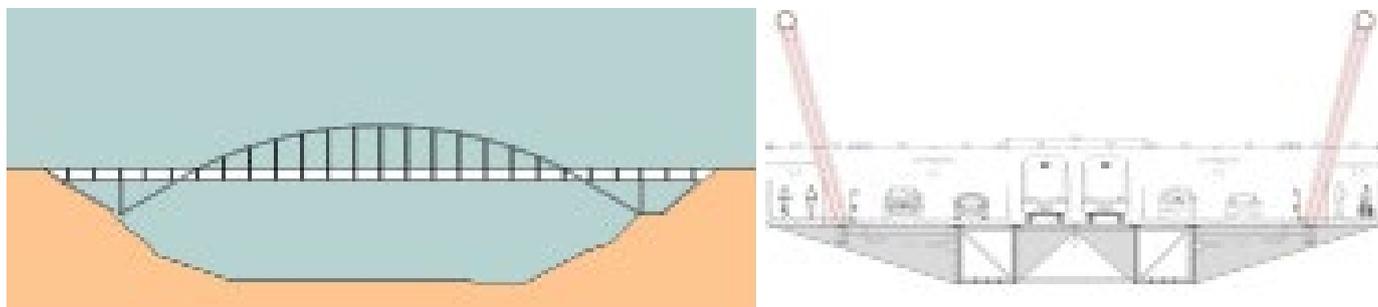
Appartengono a questa categoria strutture di minore impatto visivo e formalmente coerenti con le altre strutture di attraversamento realizzate nell'ambito della prima fase del progetto Tram della Città come l'altro ponte sul fiume Oreto e i sovra passi sulla circonvallazione.

I ponti ad arco richiedono, nella normale pratica, la realizzazione di strutture di sostegno provvisorie in fondo valle sino al completamento dello arco statico. Ritenuto non accettabile la realizzazione di sostegni nel fondo valle per l'alto valore ambientale dell'area sono state studiate soluzioni alternative come la traslazione o la rotazione della struttura preassemblata fuori sede ma entrambe queste soluzioni non sono state ritenute tecnicamente percorribili.

Inoltre i ponti ad arco possono essere staticamente divisi in strutture in cui l'impalcato è posizionato sotto l'arco, quelle in cui l'impalcato è posizionato sopra l'arco e infine quelle, definite ad arco ribassato, dove l'impalcato è sotto l'arco solo nella parte

centrale. Quest’ultima tipologia consente:

- di eliminare l’impatto con il fondo valle; non necessita di strutture di sostegno provvisorie dal basso né l’accesso alle aree vallive;
- di realizzare un arco non particolarmente elevato sul piano campagna riducendo l’impatto visivo e paesaggistico dell’opera che resta comunque connotativa del sistema Tram cittadino.



Sezione longitudinale e sezione trasversale del ponte ad arco

Abbiamo sviluppato ambedue le soluzioni, traendo le seguenti conclusioni schematicamente sopra illustrate.

**a)** La soluzione (1) è una realizzazione tutta fuori dall’ecosistema della valle, ma molto “imponente” rispetto al sistema urbano circostante. Presenta reazioni prevalentemente verticali sul terreno di fondazione.

**b)** La soluzione (2) è quella che meglio si addice al paesaggio: infatti è moderatamente “emergente”, e possiede grande tensione formale, perché collega le due sommità della valle con una struttura “esile” che la “sorvola”. Presenta notevoli spinte orizzontali e verticali sul terreno di spalla.

Data l’odierna conoscenza della struttura geomorfologica dell’area proponiamo, fatto salvo l’approfondimento delle indagini programmate nell’elaborato relazione R.6, la soluzione ad arco ribassato che consegue il miglior risultato formale, ambientale, strutturale, di economia di costruzione, di gestione e di manutenzione.

### Descrizione dell’opera

La struttura dell’impalcato è l’elemento unificante di tutte l’opera, anche se meno evidente. Esso è composto essenzialmente da un graticcio di travi in acciaio, collaboranti superiormente con una soletta in c.a.

L’impalcato poggia lateralmente: sulle spalle e su due coppie di pile verticali a circa 20 m dalle estremità. Da queste due “spalle estese”, spiccano setti inclinati che costituiscono:

- l’imposta dei due archi laterali
- il supporto delle travi centrali

I semiarchi che emergono dall’impalcato, vanno a riunirsi in chiave formando due archi a settore circolare. Una serie di pilastri-tiranti collega impalcato ed archi. Essi hanno la doppia funzione di trasmettere agli archi i carichi dell’impalcato, ma anche di stabilizzare l’arco (compressa) rispetto ai suoi possibili sbandamenti orizzontali. Le travi trasversali, che innervano tutto l’impalcato hanno la funzione di “far lavorare insieme” archi e travi longitudinali.

Nel progetto presentato gli archi e i tiranti giacciono su piani lievemente inclinati “in fuori”. Ciò ha puramente valenze estetiche: braccia aperte al cielo per accogliere i veicoli al centro e, ai lati, per proteggere con la loro ombra i viandanti. Sui criteri di scelta della posizione in cui gli archi penetrano l’impalcato, si rimanda alla Relazione R2.

Tutte le caratteristiche illustrate prima concorrono a creare un insieme compatto, snello e visivamente accogliente.

Nella successiva fase progettuale, alla luce dei risultati delle indagini geotecniche, sarà sviluppato un modello complessivo di terreno-struttura. Nel caso di criticità, si potrà introdurre un giunto di dilatazione che attraversi tutto l’impalcato su una retta dove gli archi lo incontrano. Ciò fa decrescere molto le spinte orizzontali e gli effetti delle autotensioni termiche e crescere le reazioni verticali in fondazione.

Dal punto di vista geologico l’area d’interesse progettuale è caratterizzato dalla presenza della formazione delle Calcareni di Palermo. Databili al Pleistocene inferiore (Emiliano – Siciliano) sono costituite da calcareniti e sabbie calcaree biancastre o gialle, in funzione della presenza di ossidi di ferro e manganese, con intercalazioni di corpi lenticolari di ciottoli e conglomerati

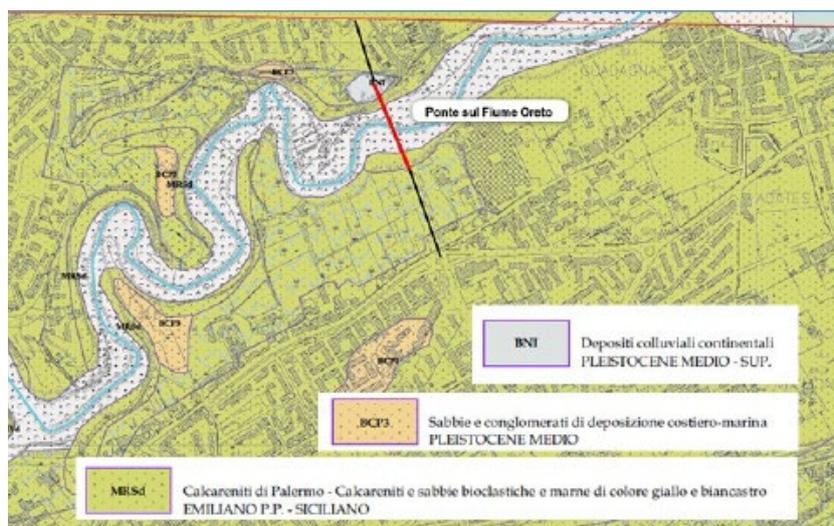


Rappresentazione fotorealistica della soluzione con ponte ad arco

in matrice sabbioso detritica medio fine, spesso macrofossilifera, talora vacuolare. Una caratteristica di questo deposito è il grado di cementazione, che risulta variabile sia in senso verticale che orizzontale con una consistenza da lapidea a tenera sino a friabile. La cementazione in particolare è presente sia in forma primaria (microcristallina) che secondaria, anche se non mancano locali processi di decementificazione. La stratificazione è suborizzontale in strati di spessore variabile dal decimetro al metro. Lo spessore della formazione è collegato alla paleogeomorfologia della fase deposizionale, con un generale e graduale aumento dall'interno verso la costa. Nell'attraversamento del Fiume Oreto sono attesi valori nell'ordine di 40 m circa. Dalle informazioni bibliografiche disponibili risulta che le calcareniti poggiano su Argille Azzurre del Pleistocene inferiore costituite da limi argillosi, argille sabbiose e sabbie fini limose.

Depositi di copertura colluviali o costieri ricoprono localmente, per spessori modesti, le calcareniti mentre nell'alveo del Fiume Oreto sono presenti depositi alluvionali quaternari.

La figura 1 seguente, rappresenta uno stralcio della carta geologica del PRG di Palermo, centrato sull'area in studio.

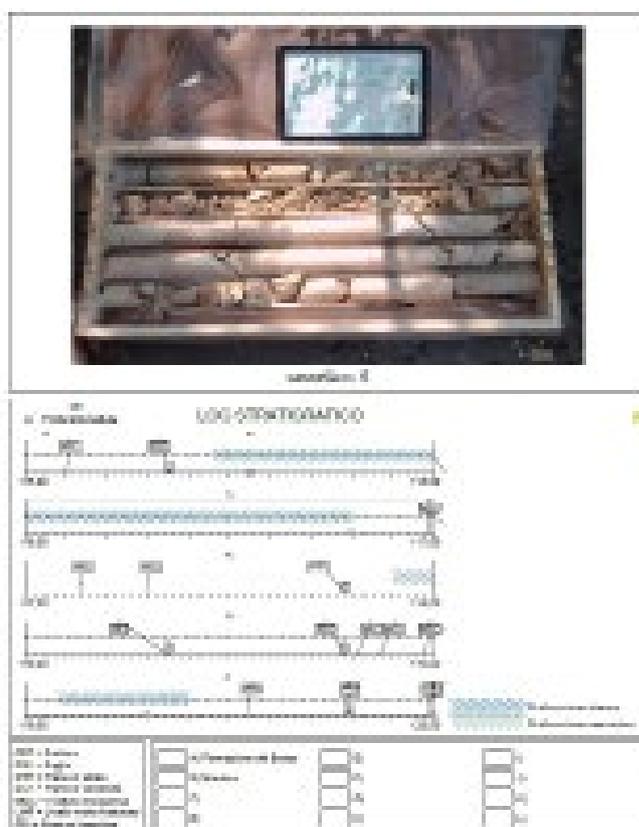


Stralcio Carta Geologica del PRG di Palermo centrato sull'attraversamento del Fiume Oreto (non in scala)

Nel contesto descritto la campagna geognostica per la progettazione del ponte sul Fiume Oreto è commisurata all'importanza dell'opera e tarata in maniera tale da indagare compiutamente entrambe le soluzioni prospettate: ponte ad arco e ponte strallato.

Articolata attraverso l'abbinamento di indagini dirette ed indirette, con prove in sito e di laboratorio, comprende:

- n° 2 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1 ed S2, profondi 50 m, posti in corrispondenza delle due estremità del ponte;
- n.2 sondaggi a carotaggio continuo denominati S3 ed S4, profondi 30 m, ubicati in prossimità del piede della scarpata e quindi in corrispondenza del possibile appoggio degli archi;
- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S5, profondo 30 m, ubicato in sponda destra in corrispondenza degli ancoraggi del ponte strallato;
- prove in sito e prelievo di campioni da sottoporre a prove di classificazione e caratterizzazione geotecnica e geomeccanica;
- traverse sismiche a rifrazione disposte su entrambe le sponde del corso d'acqua.
- Prove sismiche passive tipo HSRV



Fotografia singola e schematizzazione del log stratigrafico

Descrizione dettagliata delle discontinuità in coerenza con il log stratigrafico

Considerato che la quota del terreno rispettivamente in destra e sinistra idrografica è di circa 49 m s.l.m. e 45 m s.l.m., mentre il fondovalle del Fiume Oreto si trova a circa 20 m s.l.m., i sondaggi S1 ed S2 in corrispondenza delle spalle saranno spinti sino alla profondità di 50 m da p.c. ovvero circa 20 m al di sotto del fondovalle.

Si prevede di attrezzare queste perforazioni per l'esecuzione di prove down hole lungo l'intero sviluppo.

I sondaggi S3–S4 posti ad una quota inferiore, ed S5 posto in corrispondenza degli ancoraggi, saranno spinti sino a 30 m da p.c. ed attrezzati con piezometro.

Le perforazioni saranno condotte a carotaggio continuo con recupero integrale del materiale, e comunque in maniera tale da assicurare una percentuale di carotaggio mai inferiore all'80%.

Sulle carote sarà rilevato in maniera sistematica il parametro RQD, e sarà condotto un rilievo geostrutturale acquisendo e documentando tutte le informazioni relative alle caratteristiche della roccia e delle relative discontinuità, con particolare riferimento alla tipologia, inclinazione, forma, rugosità (classe JRC) resistenza (Indice di Schmidt) grado di alterazione, apertura e riempimento, come riportato a titolo di esempio nelle figure 2 e 3.

Nel corso della perforazione saranno effettuate prove di permeabilità in foro tipo Lugeon, rigorosamente in fase di avanzamento e con un solo packer, su tasche di lunghezza indicativamente prevista in questa fase di 3 m; tali prove permetteranno di rilevare non solo la permeabilità ma anche di valutare, indirettamente, il grado di fratturazione della roccia, dato questo da confrontare con l'RQD locale e con le risultanze dell'indagine geofisica.

Saranno inoltre eseguite prove dilatometriche e prelevati campioni di terreno da sottoporre a prove di classificazione e caratterizzazione presso laboratori geotecnici provvisti di autorizzazione ministeriale.

Si prevede indicativamente per ogni sondaggio da 50 m l'esecuzione di n. 5 prove Lugeon, n. 3 prove dilatometriche, il prelievo di n. 2 campioni rimaneggiati di materiale sciolto, n. 16 campioni lapidei e n. 4 campioni indisturbati.

Sui ciascuno dei sondaggi da 30 m saranno eseguite n. 2 Lugeon, n. 1 prova dilatometrica, saranno prelevati n. 2 campioni rimaneggiati, n. 5 campioni lapidei e n. 2 campioni indisturbati.

In affioramento saranno inoltre selezionati e prelevati campioni lapidei, rappresentativi di diverse litofacies della formazione delle Calcareniti di Palermo, da inviare al laboratorio congiuntamente ai campioni di sondaggio.

Durante le perforazioni saranno periodicamente eseguite, e comunque sempre ad inizio e fine giornata, misure del livello di falda in foro.

Anche se la perforazione dovrebbe svilupparsi in buona parte entro depositi consistenti, in stima sono state cautelativamente previste alcune prove SPT con contestuale prelievo di campioni indisturbati.

I fori di sondaggio da 50 m saranno attrezzati con tubazione in HPDE al fine di eseguire prove down hole con le quale determinare la velocità di propagazione delle onde P ed S lungo la verticale, valutare il grado di fratturazione e cementazione

della roccia, determinare con accuratezza i valori di Vs30.

Note le velocità Vp e Vs potranno essere estrapolati alcuni parametri e moduli (dinamici) del terreno quali il modulo elastico, modulo di taglio, modulo di rigidità, coefficiente di Poisson, densità e modulo di incompressibilità.

Nel caso in studio si vuole dare particolare attenzione allo studio della sismicità locale non limitandosi semplicemente all'individuazione della categoria di suolo di fondazione, ma anche verificando possibili e locali fenomeni di amplificazione sismica dovuti al particolare contesto morfologico ed alla successione stratigrafica.

I fori di sondaggio da 30 m saranno strumentati con piezometri a tubo aperto fessurati negli ultimi 15 m e sigillati fra 0 – 15 m da p.c.

Al termine dei sondaggi saranno eseguite le indagini geofisiche che consisteranno:

- 1. nell'acquisizione delle prove down hole in foro di sondaggio;
- 2. nell'acquisizione, per ciascuna sponda del corso d'acqua, di n. 3 stendimenti di sismica rifrazione di lunghezza pari a 150 m ciascuno, per complessivi 900 m di stendimento;

Gli stendimenti sismici saranno disposti trasversalmente al tracciato e fra loro paralleli, in maniera tale da verificare la diversa risposta del terreno con la profondità ed al variare della distanza della scarpata che delimita l'alveo del Fiume Oreto.

I risultati, interpretati insieme alle colonne stratigrafiche ed ai risultati delle prove down hole, permetteranno di meglio inquadrare, descrivere e caratterizzare il modello geostratigrafico, geotecnico e sismico posto a base del progetto.

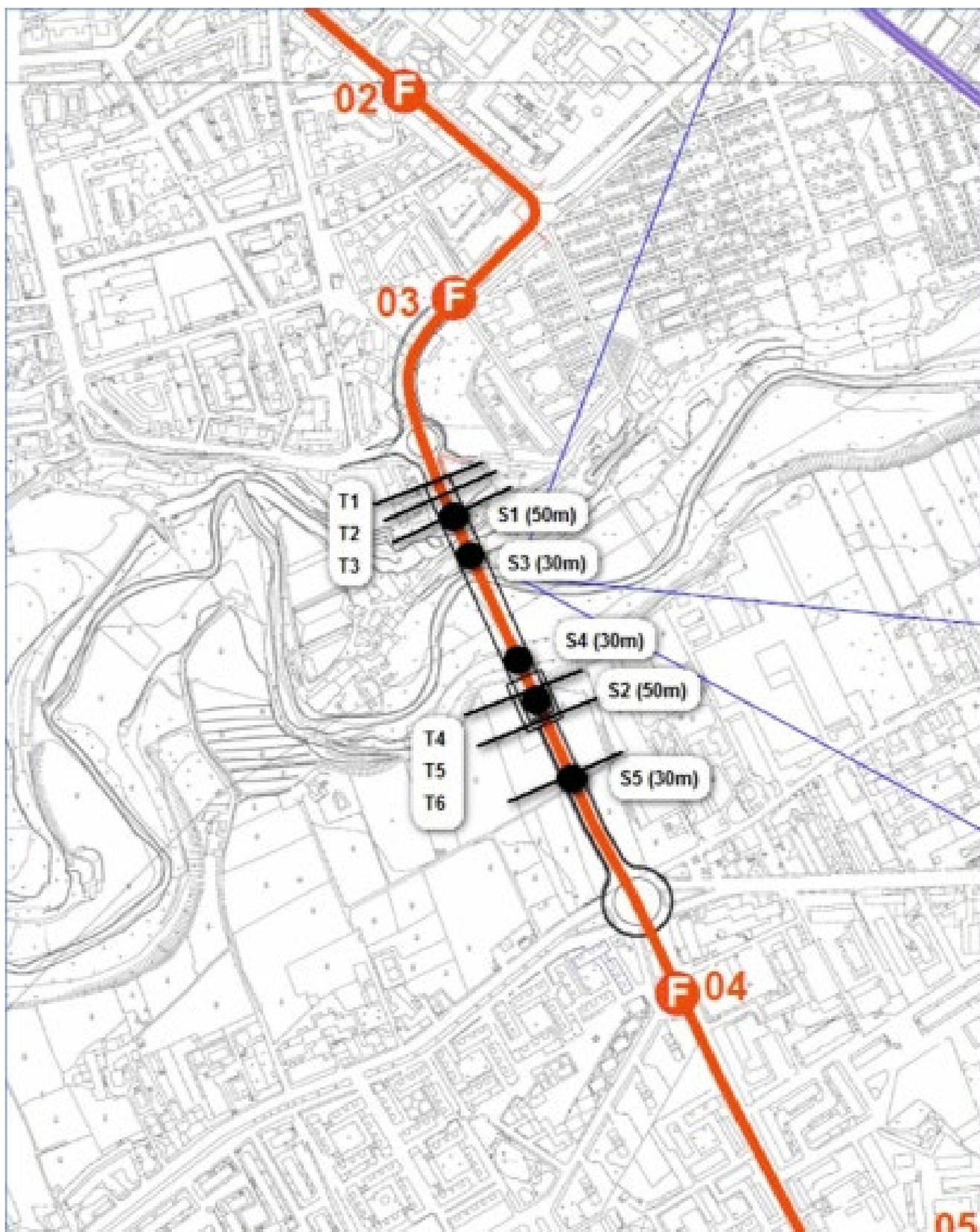
Per quel che riguarda le prove di laboratorio nei materiali sciolti a composizione granulare sarà eseguita la determinazione della massa volumica dei grani, contenuto d'acqua ed analisi granulometrica per setacciatura.

Sui materiali lapidei, provenienti da carote o campioni in affioramento, saranno eseguite sistematiche determinazioni della massa volumica, compressione semplice strumentata e non strumentata, trazione brasiliana, point load test, determinazione del contenuto di carbonato di calcio, prova sclerometrica e determinazione del contenuto d'acqua. Su alcuni campioni saranno eseguite anche prove per valutare il grado di resistenza all'usura e frammentazione, i cui risultati serviranno anche per meglio comprendere la scavabilità della roccia e le eventuali possibilità di reimpiego, quale prova Los Angeles e determinazione della durezza Mohs.

Sui campioni indisturbati, rappresentativi dei materiali coesivi eventualmente intercettati in profondità al di sotto delle calcareniti, saranno eseguite prove di classificazione (granulometria per setacciatura e sedimentazione, peso di volume, contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg) oltre a prove di caratterizzazione quale compressione edometrica, compressione semplice, taglio diretto e triassiale CD e UU.

Tutte le attività di campo saranno seguite da geologi facenti parte del gruppo di progettazione che potranno apportare le modifiche ritenute necessarie sulla base dei dati via via acquisiti.





Ubicazione indagine geognostiche in corrispondenza del Ponte sul Fiume Oreto



Essi in particolare verificheranno la qualità delle attività d'indagine, le profondità dei sondaggi in funzione del modello stratigrafico atteso e le profondità di esecuzione delle prove in sito; sceglieranno inoltre i campioni da inviare al laboratorio ed integreranno e valideranno le colonne stratigrafiche di sondaggio.

Anche le indagini geofisiche potranno essere adeguate sulla base dei riscontri emersi a completamento dei carotaggi.

Gli stessi tecnici durante la campagna d'indagine effettueranno rilievi geologici di campo acquisendo stazioni geostrutturali in corrispondenza delle ampie pareti di affioramento della formazione lungo le sponde del Fiume Oreto, e prelevando ulteriori campioni da sottoporre a prove di laboratorio.

Lo studio ed il confronto di foto aeree relative a diversi periodi permetterà di approfondire le valutazioni sulla stabilità delle sponde del corso d'acqua nel tratto attraversato dal viadotto.

L'ubicazione delle indagini previste e sopra descritte è rappresentato in figura 4.

### INDAGINI PER LE OPERE D'ARTE

Per quanto riguarda le indagini relative ai sottopassi si è prevista l'esecuzione di sondaggi geognostici con installazione di piezometri per il rilievo della falda acquifera. Saranno inoltre eseguite prove penetrometriche tipo S.P.T nel corso dei sondaggi nell'ambito dei litotipi incoerenti, mentre si prevede di prelevare campioni indisturbati nelle unità coesive.

Tali campioni saranno sottoposti a prove geotecniche di laboratorio, articolate in prove di identificazione (determinazione del contenuto d'acqua, massa volumica, massa volumica dei grani, analisi granulometrica, limiti di Atterberg) e prove meccaniche (prove edometriche, prove di taglio diretto, prove ELL, prove di compressione triassiale), per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate e non drenate e i parametri di compressibilità;

Laddove si intercettassero litotipi lapidei saranno prelevati campioni da sottoporre a prove di identificazione e prove di compressione uniassiale anche con determinazione dei moduli di deformabilità.

Di seguito la schematizzazione delle aree interessate dalle opere d'arte.



*Indagini geognostiche per le aree interessate dalla realizzazione delle opere d'arte*

**PARCHEGGI**

Il progetto precede la realizzazione di n.11 parcheggi dei quali n.9 interrati; in quest'ultimi, in relazione alle problematiche geotecniche da affrontare, sono state previste le seguenti indagini in sito ed in laboratorio:

- esecuzione di n.2 sondaggi geognostici per ogni area di parcheggio spinti sino ad una profondità di m 50 dal p.c.;
- esecuzione di ulteriori n.2 sondaggi ai soli fini ambientali per ogni area di parcheggio spinti sino alla profondità massima di scavo;
- installazione di piezometro tipo Casagrande per il rilievo della falda acquifera;
- esecuzione di prove penetrometriche tipo S.P.T nel corso dei sondaggi nell'ambito dei litotipi incoerenti;
- prelievo di campioni indisturbati nelle unità coesive;
- esecuzione di prova sismica verticale tipo down-hole per la conoscenza delle caratteristiche elastiche dei litotipi presenti e la determinazione del Vs30 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto in ottemperanza alle "Norme tecniche per le costruzioni", D.M. Ministero Infrastrutture del 14/01/2008;
- esecuzione di prove di permeabilità del tipo Lefranc o Lugeon da scegliere in funzione dei litotipi attraversati;
- esecuzione di prove geotecniche di laboratorio sui campioni indisturbati, articolate in prove di identificazione (determinazione del contenuto d'acqua, massa volumica, massa volumica dei grani, analisi granulometrica, limiti di Atterberg) e prove meccaniche (prove edometriche, prove di taglio diretto, prove ELL, prove di compressione triassiale), per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate e non drenate e i parametri di compressibilità;
- laddove si intercettassero litotipi lapidei saranno prelevati campioni da sottoporre a prove di identificazione e prove di compressione uniassiale anche con determinazione dei moduli di deformabilità;
- esecuzione di indagini georadar nelle aree dei seguenti parcheggi "Libertà Parking", "Don Bosco Parking" e "De Gasperi Parking", poichè rientrano in aree classificate "sito di attenzione" ai sensi del P.A.I. per possibile presenza di cavità sotterranee
- Relativamente al parcheggio a raso "Bonagia parking", saranno eseguite indagini in sito ed in laboratorio:
- esecuzione di n.2 sondaggi geognostici spinti sino ad una profondità di m 10 dal p.c.;
- esecuzione di ulteriori n.2 sondaggi ai soli fini ambientali spinti sino alla profondità di m 10;
- installazione di piezometro tipo Casagrande per il rilievo della falda acquifera;
- esecuzione di prove penetrometriche tipo S.P.T nel corso dei sondaggi nell'ambito dei litotipi incoerenti;
- prelievo di campioni indisturbati nelle unità coesive;
- esecuzione di prove sismiche tipo HSRV per la determinazione del Vs30 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto in ottemperanza alle "Norme tecniche per le costruzioni", D.M. Ministero Infrastrutture del 14/01/2008;
- esecuzione di prove geotecniche di laboratorio articolate in prove di identificazione (determinazione del contenuto d'acqua, massa volumica, massa volumica dei grani, analisi granulometrica, limiti di Atterberg) e prove meccaniche (prove edometriche, prove di taglio diretto, prove ELL, prove di compressione triassiale), per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate e non drenate e i parametri di compressibilità.
- laddove si intercettassero litotipi lapidei saranno prelevati campioni da sottoporre a prove di identificazione e prove di compressione uniassiale anche con determinazione dei moduli di deformabilità.

Relativamente al parcheggio multipiano f.t. "Giulio Cesare Parking", saranno eseguite le seguenti indagini in sito ed in laboratorio:

esecuzione di n.2 sondaggi geognostici spinti sino ad una profondità di m 30 dal p.c.;

esecuzione di ulteriori n.2 sondaggi ai soli fini ambientali spinti sino alla profondità di m 10;

installazione di piezometro tipo Casagrande per il rilievo della falda acquifera;

esecuzione di prove penetrometriche tipo S.P.T nel corso dei sondaggi nell'ambito dei litotipi incoerenti;

prelievo di campioni indisturbati nelle unità coesive;

esecuzione di prova sismica verticale tipo down-hole per la conoscenza delle caratteristiche elastiche dei litotipi presenti e la determinazione del Vs30 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto in ottemperanza alle "Norme tecniche per



## LEGENDA

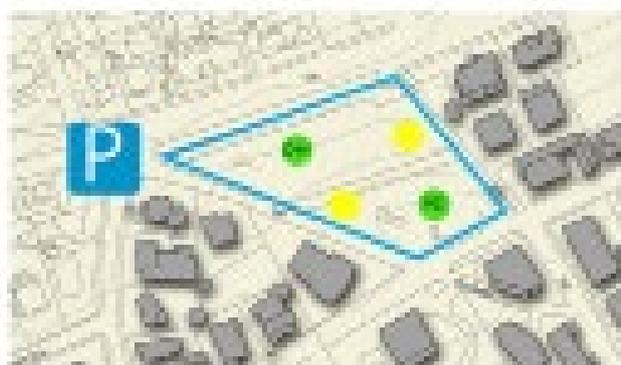
TRAMONTA

INTEGRAZIONE CIRCOSCRIZIONE

-  Contaggio del integrato ambientale
-  Contaggio del integrato ambientale con prova tecnica full I&D+V
-  Contaggio geometrico
-  Contaggio geometrico con prova tecnica
-  Contaggio geometrico con prove tecniche



De Gasperi Parking



Mongibello Parking



Giulio Cesare Parking



Galatea Parking



Don Bosco Parking



Libertà Parking



Notarbartolo Parking



Bonagia Parking

le costruzioni", D.M. Ministero Infrastrutture del 14/01/2008;

esecuzione di prove geotecniche di laboratorio sui campioni coesivi articolate in prove di identificazione (determinazione del contenuto d'acqua, massa volumica, massa volumica dei grani, analisi granulometrica, limiti di Atterberg) e prove meccaniche (prove edometriche, prove di taglio diretto, prove ELL, prove di compressione triassiale), per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate e non drenate e i parametri di compressibilità.

laddove si intercettassero litotipi lapidei saranno prelevati campioni da sottoporre a prove di identificazione e prove di compressione uniassiale anche con determinazione dei moduli di deformabilità.

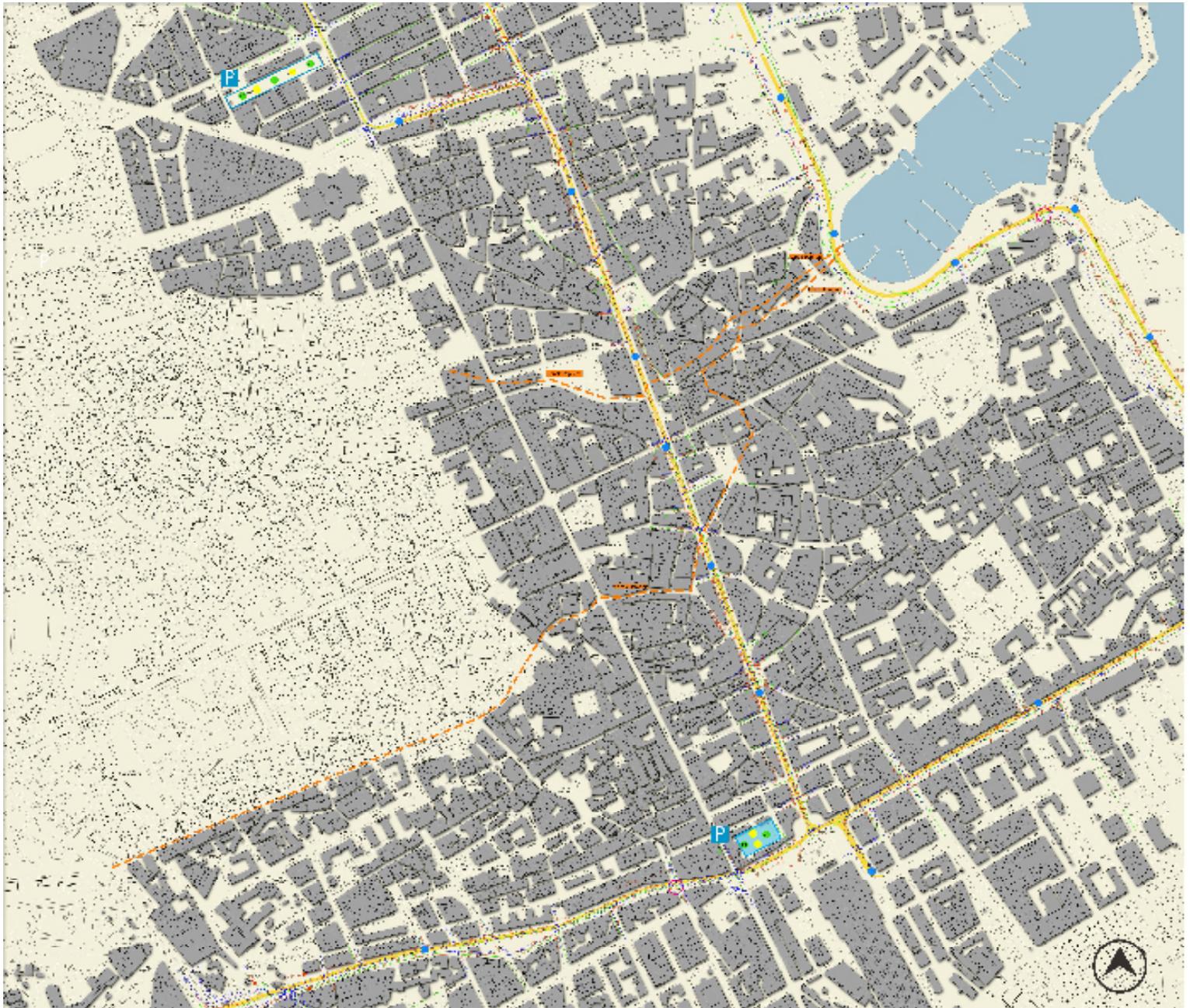
I sondaggi ai fini ambientali ed i sondaggi geognostici negli spessori superficiali di terreno indagato (5-10 m), saranno eseguiti utilizzando impiego di carotiere "a semiluna", con carotaggio a secco ed impiego di idropulitrice - con temperatura di 100° dell'acqua in pressione - per la pulizia delle attrezzature e comunque con tutte le metodologie necessarie per mantenere inalterate le caratteristiche dei campioni.

**PLANIMETRIE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE**

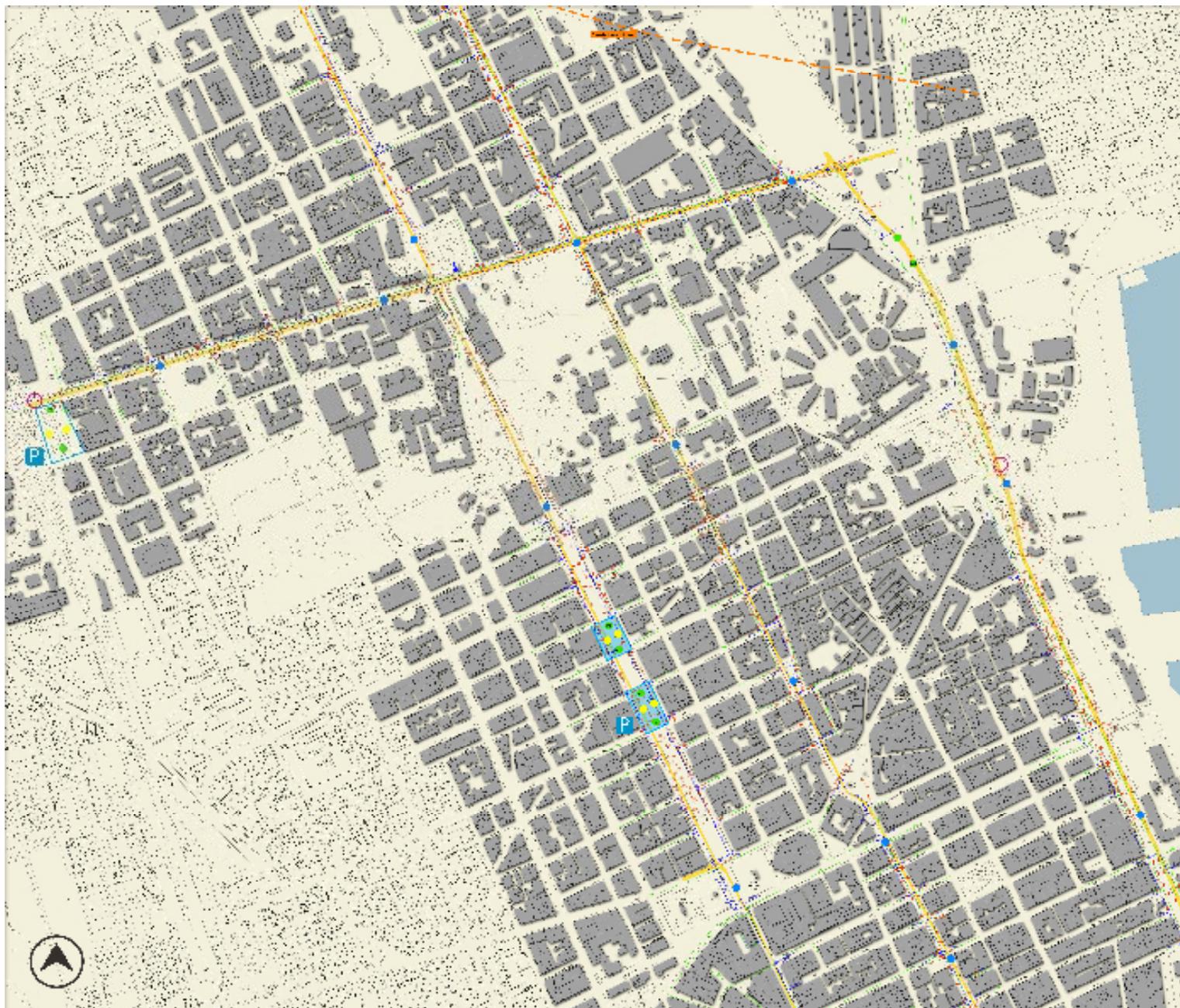
Tutte le indagini di cui sopra, sono descritte nelle planimetrie sotto riportate.



### TRATTA A-1 di 3



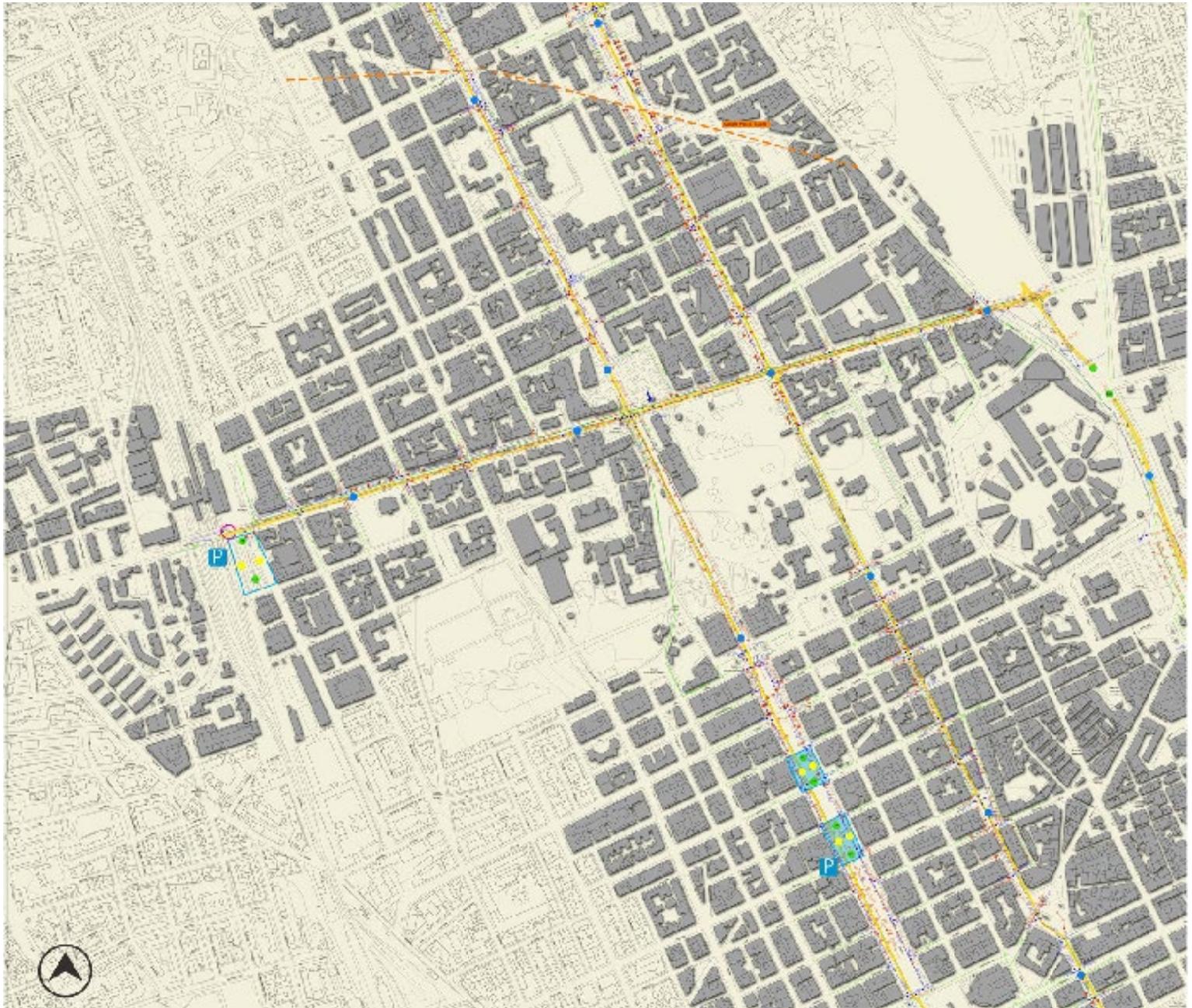
### TRATTA A-2 di 3



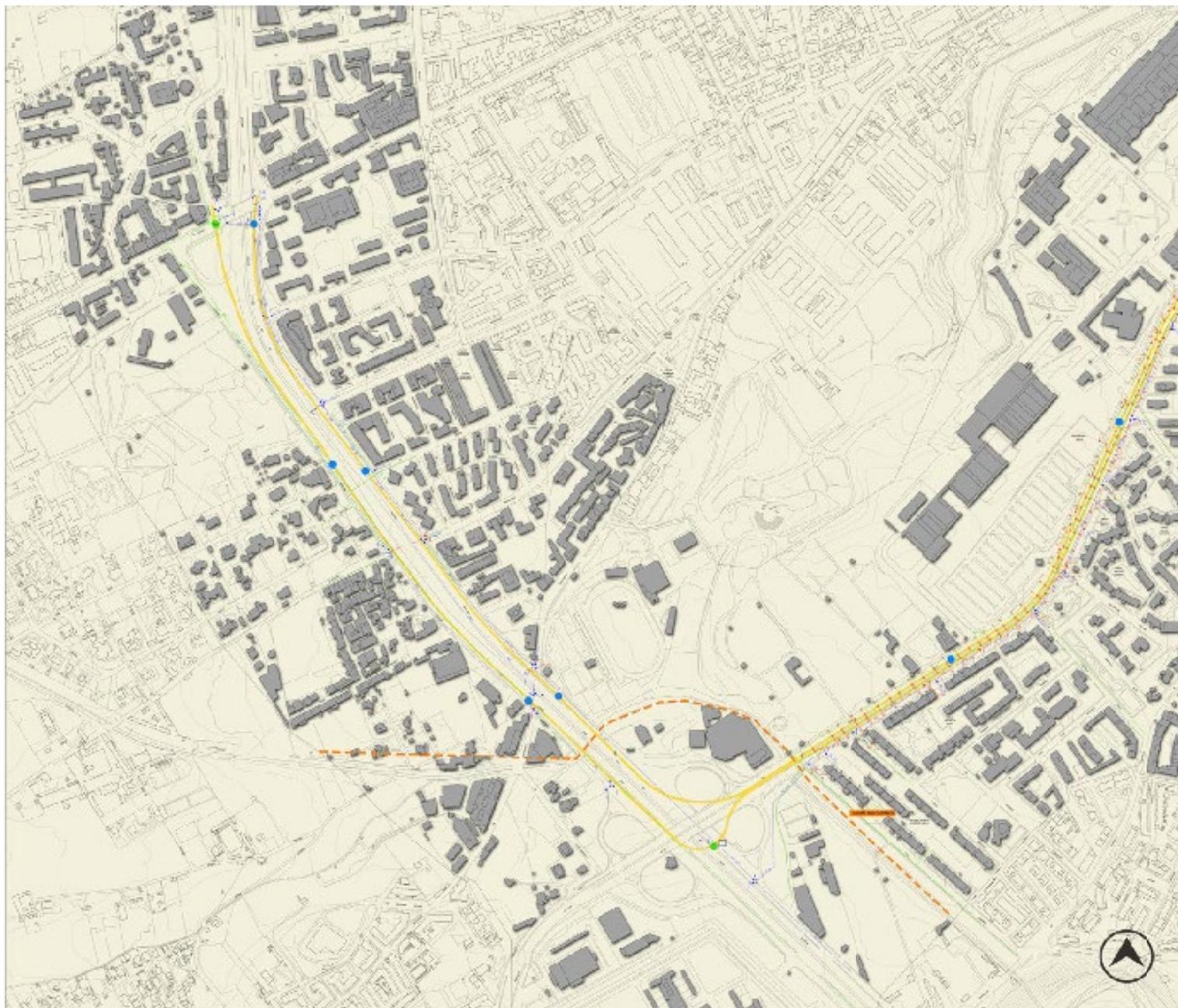
### TRATTA A-3 di 3



## TRATTA B



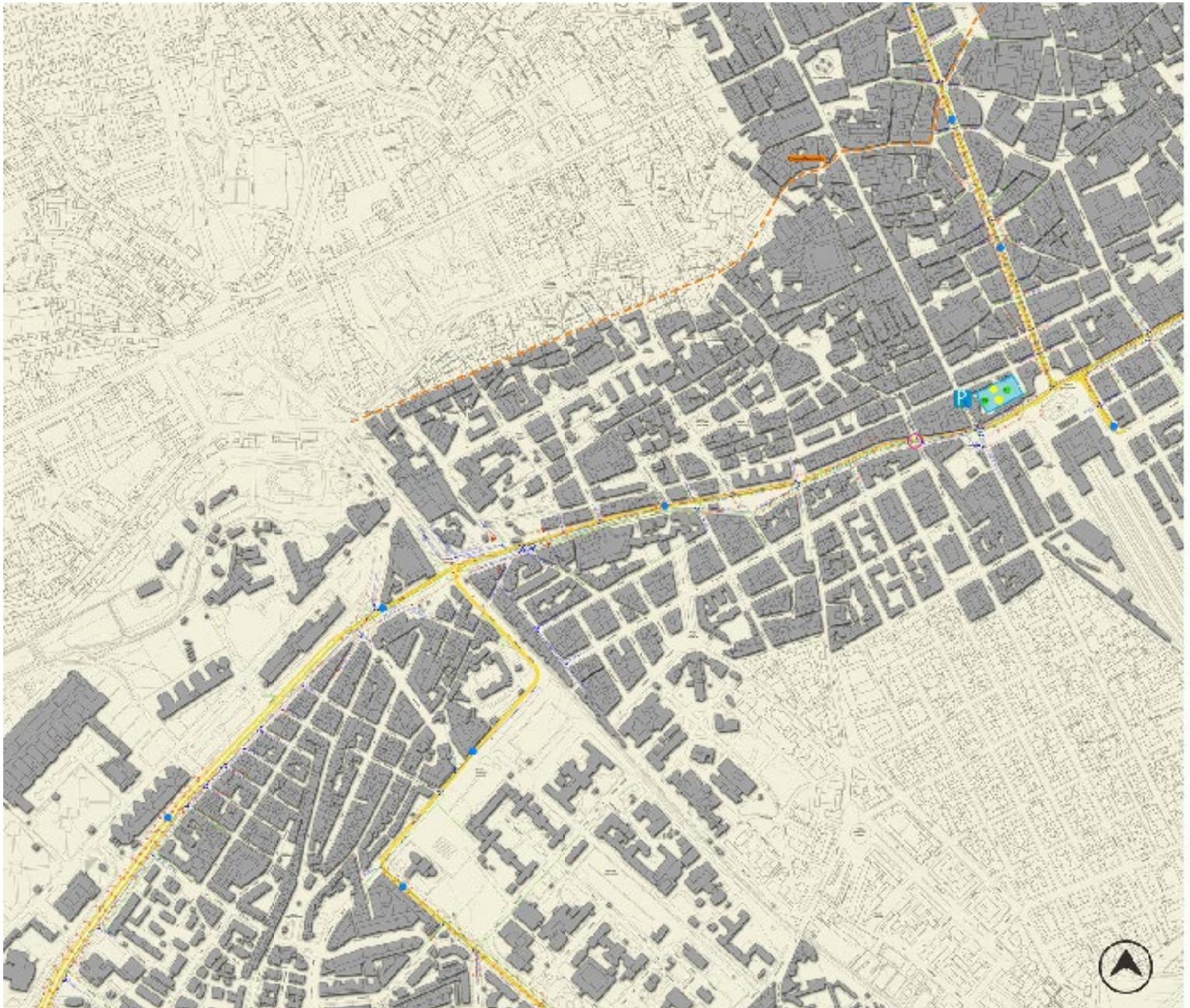
### TRATTA C-1 di 3



### TRATTA C-2 di 3



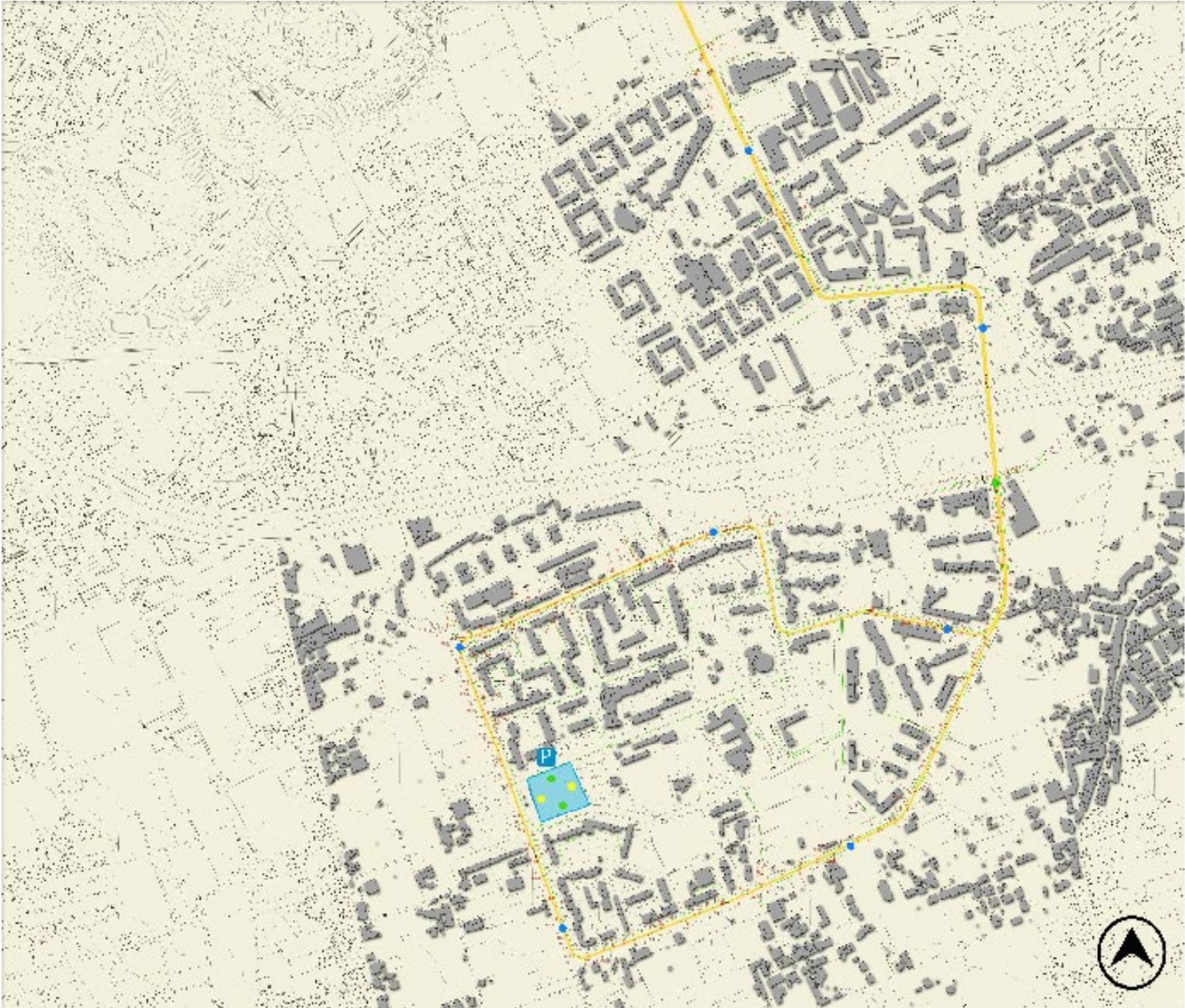
## TRATTA C-3 di 3



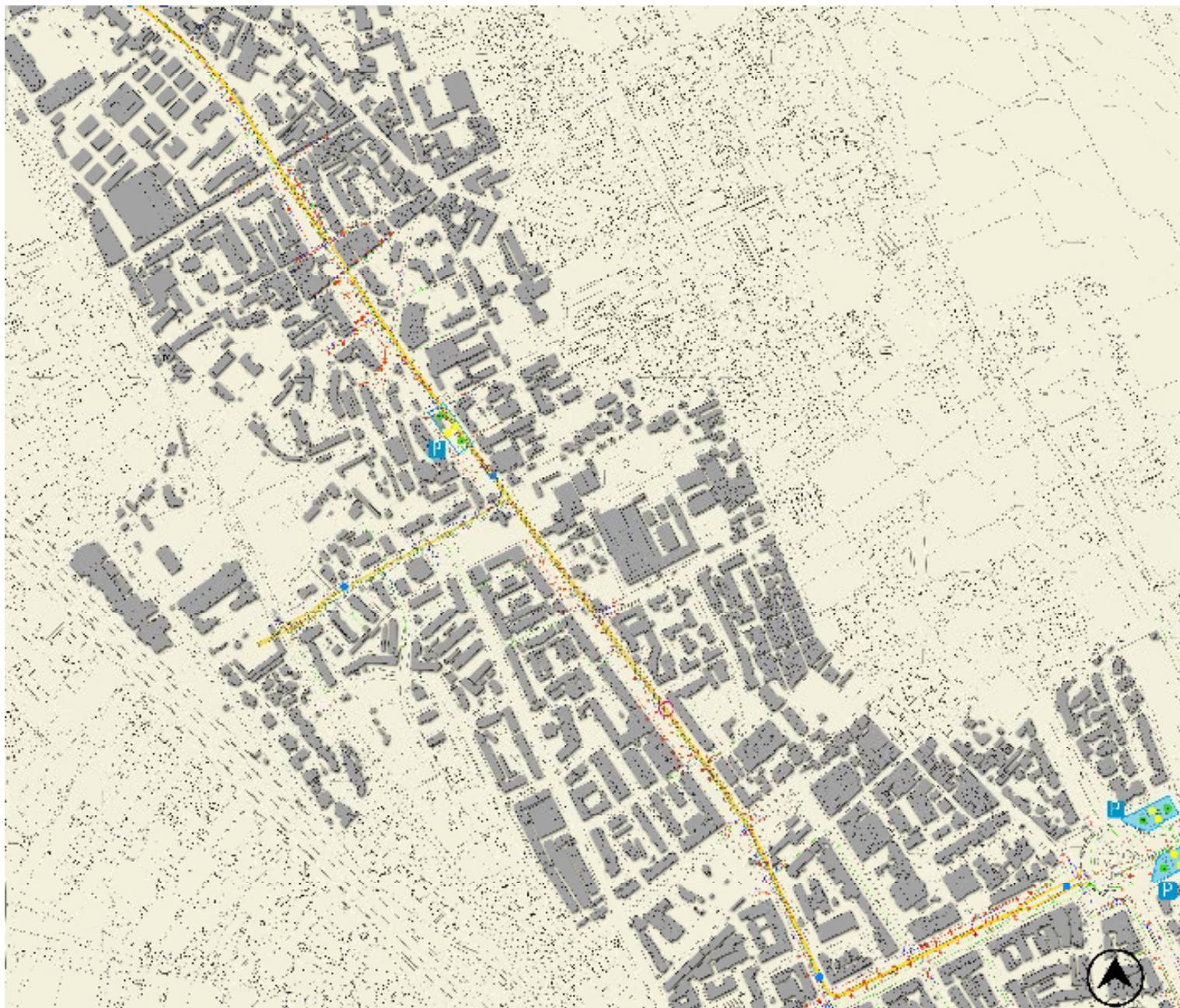
## TRATTA D-1 di 2



TRATTA D-2 di 2



### TRATTA E-1 di 4



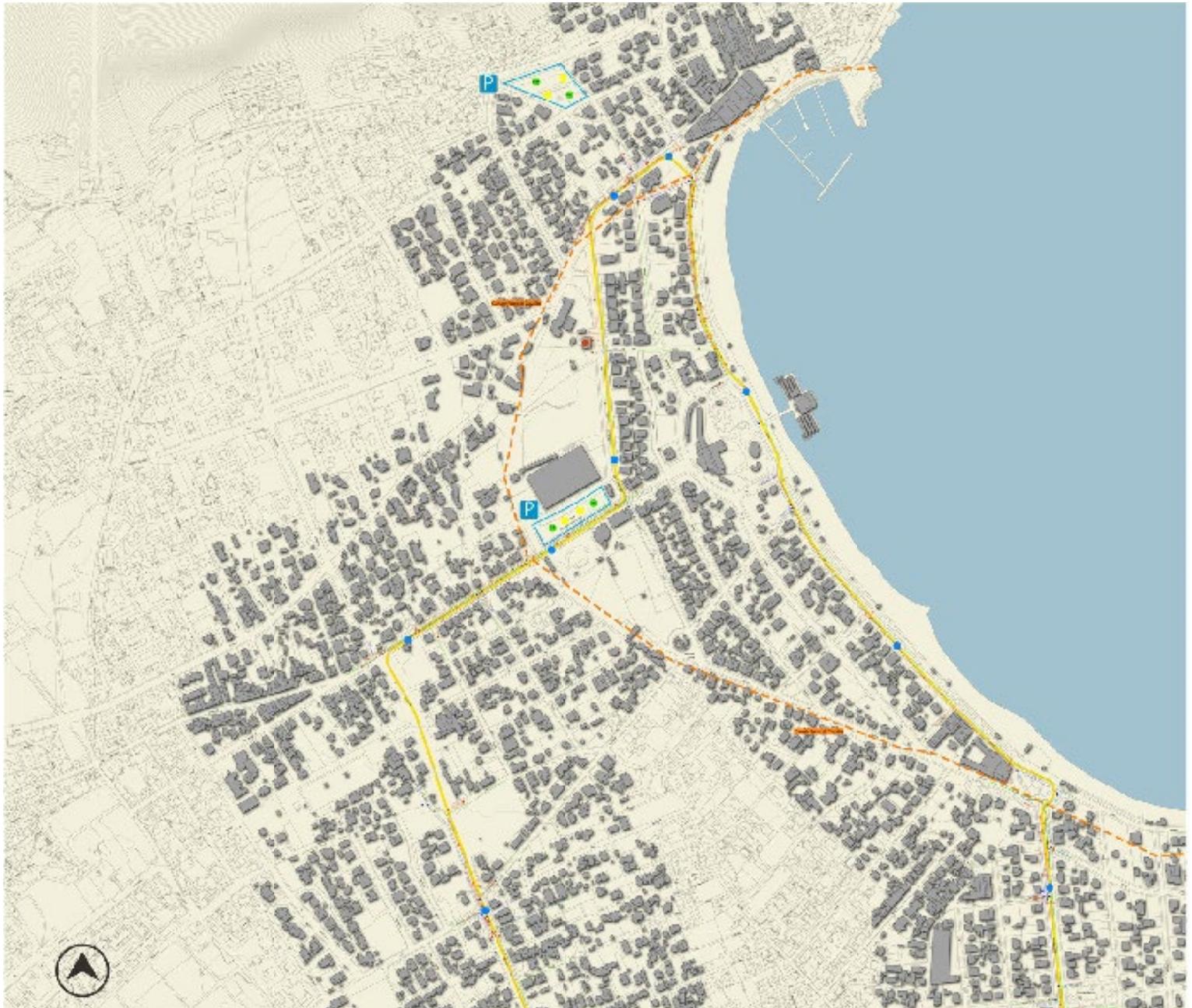
## TRATTA E-2 di 4



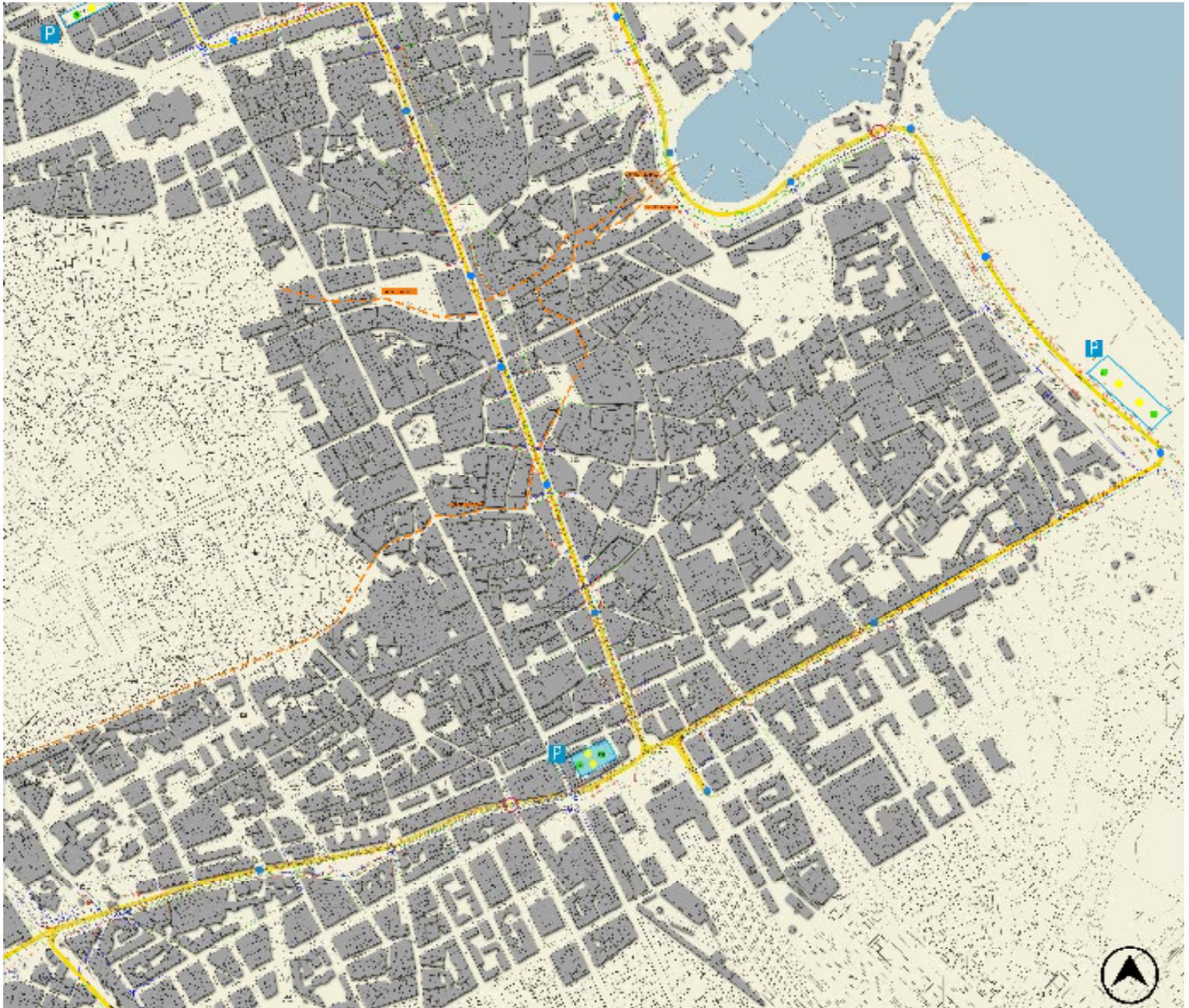
## TRATTA E-3 di 4



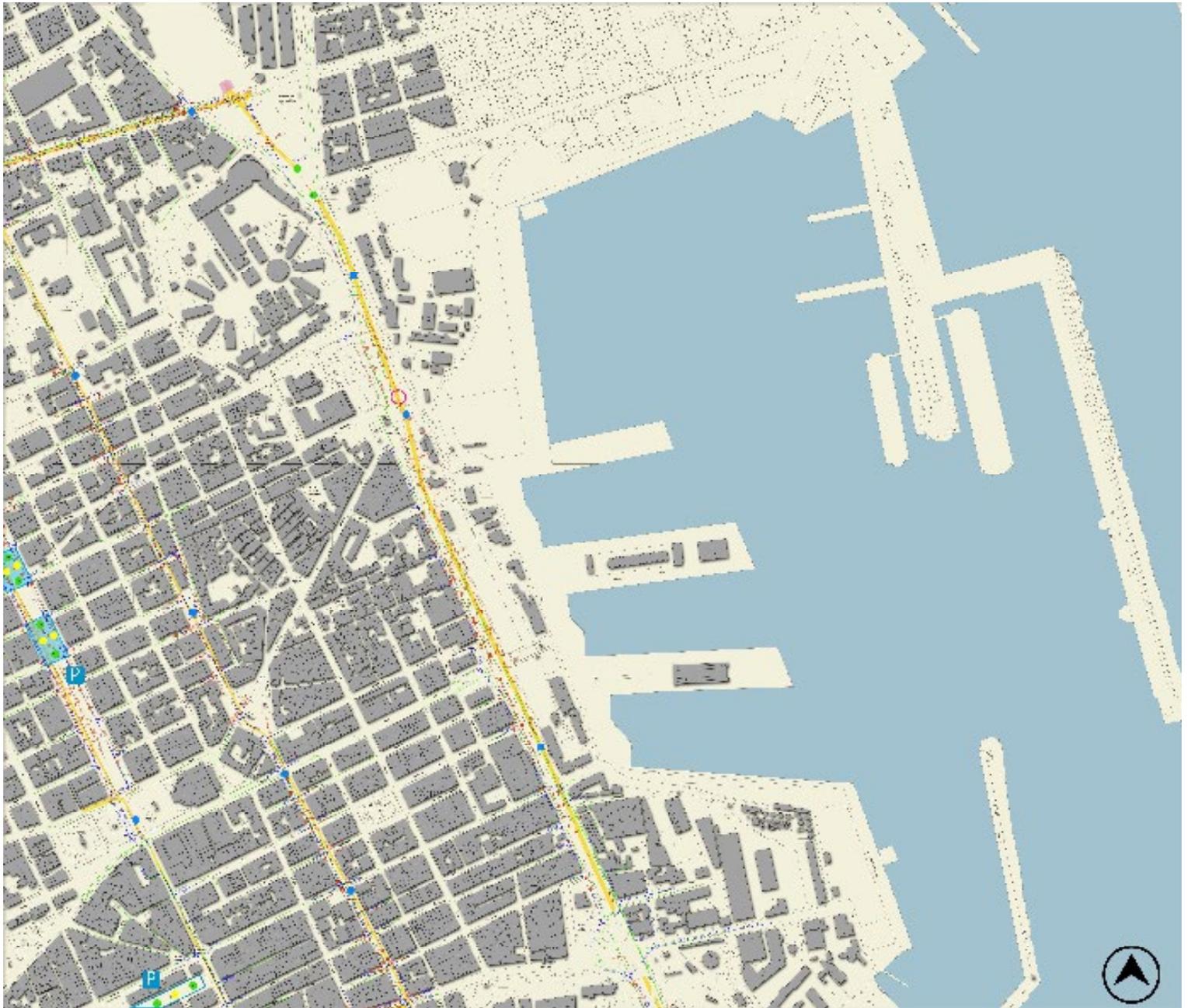
## TRATTA E-4 di 4



## TRATTA F-1 di 2



## TRATTA F-2 di 2



## TRATTA G-1 di 2



## TRATTA G-2 di 2



**COMPUTO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE**

Di seguito vengono riportati i computi relativi a tutte le indagini eseguite lungo il tracciato di progetto, in corrispondenza delle opere d'arte e dei parcheggi.

Computo Indagini geognostiche e geotecniche					
Tratte Tram					
Art.	Descrizione	U.d.m.	Quantità totale	Prezzo unitario (€)	Importo (€)
<b>PERFORAZIONE DI SONDAGGI</b>					
20.3.1	Approntamento ed installazione sul primo foro di attrezzatura per sondaggi a rotazione o per perforazioni a percussione, compreso il carico e lo scarico, il trasporto in andata e ritorno, il posizionamento in assetto di lavoro, le piste di accesso le piazzole per le perforazioni, le attrezzature accessorie di cantiere, gli oneri per il montaggio e lo smontaggio e tutto quanto altro occorre per dare l'opera a perfetta regola d'arte: - a corpo	a corpo	2727	7,00	19.092,43 €
20.3.2	Installazione di attrezzatura per sondaggi a rotazione in corrispondenza degli altri punti di perforazione, escluso il primo, compresa la esecuzione di pista e piazzola, gli oneri per il montaggio e lo smontaggio e tutto quanto altro occorre per dare al posizionamento un buon assetto di lavoro. - per ogni installazione, esclusa la prima				
20.3.3	Perforazione ad andamento verticale eseguita a rotazione, a distruzione di nucleo, del diametro 85-145 mm, eseguita anche in presenza di falda, escluso l'eventuale rivestimento del foro da compensarsi a parte, in terreni di qualsiasi natura e consistenza, escluse rocce lapidee tenaci, compresa l'estrazione e compreso, infine, lo schema planimetrico dell'ubicazione del foro, le quote e le note sulla falda, compreso il reimpianto finale del foro con materiale proveniente dalla perforazione opportunamente additivato con malta cementizia.				
	per profondità comprese tra 0,00 e 30,00 m	al m	74	545,00	40.308,20 €
	per profondità comprese tra 30,01 e 60,00 m	al m	82	80,00	6.533,60 €
20.3.4 prezzario regionale 2013	Sovrapprezzo alla voce 20.2.3 per i soli tratti di perforazione per i quali è richiesto il carotaggio, in terreni di qualsiasi natura e consistenza escluso rocce in trovanti lapidei per l'attraversamento delle quali è richiesto l'impiego di corone diamantate del diametro minimo di 85 mm, compresa la conservazione in cantiere delle carote in apposite cassette catalogatrici quotate. 1) per profondità comprese tra 0,00 e 30,00 m	al m	24	625,00	14.875,00 €
20.3.8	Sovrapprezzo alle voci di perforazione: 3) impiego di carotiere "a semiluna", per il carotaggio verticale eseguito a secco compreso impiego di idropulitrice - con temperatura di 100° dell'acqua in pressione - per la pulizia delle attrezzature da utilizzare nella stessa perforazione tra le manovre successive durante le operazioni di carotaggio e/o prelievo campioni. m	al m	46	600,00	27.444,00 €
20.3.09	Prelievo di campioni rimaneggiati nel corso della esecuzione dei sondaggi e loro conservazione entro appositi contenitori trasparenti, chiusi ermeticamente compresa l'etichettatura, il trasporto al laboratorio di analisi ecc.				
	per profondità compresa tra 0,00 e 30,00 m	a campione	8	300,00	2.310,00 €

20.3.11	<p>Prelievo di campioni indisturbati, compatibilmente con la natura dei terreni, durante i sondaggi a rotazione, con campionatore a pareti sottili spinto a pressione, diametro minimo 85 mm, compresa la fornitura della fustella, da restituire a fine lavoro, la paraffinatura, l'etichettatura e l'invio al laboratorio geotecnico:</p> <p>1) per profondità compresa tra 0,00 e 30,00 m</p>				
	per profondità compresa tra 0,00 e 30,00 m	a campione	108	15,00	1.613,55 €
20.3.13	<p>Cassette catalogatrici (in legno, in polistirolo espanso, in lamiera zincata, pvc) di dimensioni 50x100 cm, scompartate in maniera tale da consentire la conservazione di carote o campioni, compreso l'onere delle indicazioni e l'invio al magazzino indicato dalla D.L.</p> <p>- Per ogni cassetta</p>	a cassetta	32	125,00	4.012,50 €
20.3.14	<p>Assistenza continua alle indagini geognostiche, redazione e certificazione della colonna geostratigrafica dei litotipi attraversati nel singolo sondaggio redatta in scala adeguata ed ai sensi del D.M 14/01/08 e ss.mm.ii. e relativa documentazione fotografica del foro di sondaggio e delle carote.</p> <p>1) per profondità compresa tra 0,00 e 30,00 m m €</p>	m	18	545,00	9.679,20 €
20.3.14	<p>Assistenza continua alle indagini geognostiche, redazione e certificazione della colonna geostratigrafica dei litotipi attraversati nel singolo sondaggio redatta in scala adeguata ed ai sensi del D.M 14/01/08 e ss.mm.ii. e relativa documentazione fotografica del foro di sondaggio e delle carote.</p> <p>1) per profondità compresa tra 30,01 e 60,00 m m €</p>	m	19	80,00	1.515,20 €
20.6.02	<p>Installazione di piezometri a tubo aperto in PVC microfessurato, in forgià predisposti, compresa la fornitura del materiale occorrente, la formazione del tappo di fondo, la collocazione del tubo metallico od in materiale plastico, la costituzione del filtro drenante e l'ulteriore tappo</p>	al m	31	60,00	1.849,20 €
20.6.5	<p>Approntamento di apparecchiatura per misurazione di piezometri a tubo aperto o tipo Casagrande, del personale addetto, compreso il trasporto in andata e ritorno e lo spostamento da tubo a tubo:</p> <p>1) per ogni serie fino a 10 rilievi di falda</p>	cad	98	2,00	196,60 €
20.6.15	<p>Pozzetti di protezione della strumentazione geotecnica, in conglomerato cementizio, provvisti di coperchio in ferro e lucchetto:</p> <p>- per ogni pozzetto installato</p>	cad	142	4,00	568,12 €
20.6.16	<p>Rilievo di falda acquifera su piezometro già predisposto compreso restituzione grafica (tabelle, sezioni, eventuali carte delle isofreatiche e quanto altro occorre per la rappresentazione dell'andamento del livello freatico e delle sue variazioni nel tempo): per ogni rilievo</p>	cad	7	2,00	13,94 €
20.2.5	<p>Approntamento ed installazione dell'attrezzatura radar con l'utilizzo di una o più antenne multicanale e/o multifrequenza, compreso il trasporto in a/r di strumentazione, per indagini radar di superficie con</p>	cad	413	7,00	2.893,17 €
20.2.6	<p>Esecuzione di indagine georadar con assetto di investigazione mediante l'utilizzo di una o più antenne combinate multicanale e/o multifrequenza, con l'utilizzo di frequenze e tempi di campionamento idonei a raggiungere la migliore definizione e profondità in relazione agli obiettivi da indagare lungo percorsi longitudinali o con acquisizioni a maglia prestabilita ASTM D6432-99 (2005).</p>	m	8	58.750,00	455.900,00 €

20.2.7	Elaborazione dei dati mediante software adeguati, compreso il trasferimento, l'interpretazione e la restituzione degli stessi su apposite planimetrie su supporto cartaceo e/o digitale.	m	10	58.750,00	591.612,50 €
20.1.10	Prova sismica passiva per la valutazione della risposta sismica di sito mediante l'acquisizione di rumore sismico per una finestra temporale di registrazione in continuo non inferiore a 20 minuti e registrato con geofono 3D avente periodo di oscillazione non superiore a 4,5 Hz e collegato ad una stazione sismometrica con risoluzione 16 - 24 bit. E'	cad	134	90,00	12.077,10 €
	1) approntamento ed installazione della attrezzatura in ciascun punto di campionatura di rumore sismico				
	2) per ogni campionatura di rumore sismico.	cad	339	90,00	30.514,50 €
20.1.10	Prova penetrometrica dinamica discontinua (SPT) eseguita nel corso di sondaggi a rotazione, con campionatore tipo RAYMOND o simile, provvisto di massa battente da 73 kg e corredato di dispositivo di sganciamento automatico, altezza di caduta 75 cm, compreso l'approntamento dell'attrezzatura, profilo penetrometrico e relazione illustrativa:				
	1) 1) per profondità comprese tra 0,00 e 30,00 m cad €	cad	106	200,00	21.158,00 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>					<b>1.244.166,81 €</b>
<b>ANALISI E PROVE DI LABORATORIO SU TERRENI SCIOLTI</b>					
20.7.2	Apertura di campione rimaneggiato, contenuto in sacchetto od altro contenitore, compreso il riconoscimento e la descrizione del campione di roccia sciolta o lapidea, analisi preliminare (ASTM D2487-11; ASTM D2488-09a; Raccomandazioni AGI 1977):				
	- per ogni campione	cad	12	200,00	2.360,00 €
20.7.2	Apertura di campione contenuto in fustella cilindrica mediante estrusione, compreso il riconoscimento e la descrizione del campione di roccia sciolta o lapidea compresa la fotografia in doppia copia del campione, analisi preliminare (ASTM D2487-11; ASTM D2488-09a; Raccomandazioni AGI 1977):				
	- per ogni campione	cad	19	15,00	286,50 €
20.7.3	Determinazione del contenuto d'acqua naturale per essiccamento in stufa, da effettuare sulla media di almeno 3 provini: (ASTM D 2216 10; UNI CEN ISO/TS 17892-1:2005):				
	- per ogni campione	cad	9	15,00	137,10 €
20.7.4	Determinazione del peso dell'unità di volume allo stato naturale mediante fustella tarata di diametro Ø 38 mm, da effettuare sulla media di 3 provini (BS 1377-90):				
	- per ogni campione	cad	12	15,00	178,50 €
20.7.5	Determinazione del peso specifico dei granuli (ASTM D854-10) (effettuare sulla media su due valori):				
	- per ogni campione	cad	41	15,00	610,50 €
20.7.13	Analisi granulometrica mediante stacciatura e sedimentazione, con aerometro, (ASTM D 422-63 (2007); UNI CEN ISO/TS 17892-4:2005) mesh (apertura maglie pari a 0,0074 mm):				
	- per ogni analisi				
	- per ogni determinazione	cad	88	220,00	19.272,00 €

20.7.15	Determinazione dei limiti di liquidità e di plasticità congiuntamente (ASTM D 4318-10; CNR UNI 10014:1964; UNI CEN ISO/TS 17892-12:2005):				
	- per ogni determinazione	cad	56	15,00	843,00 €
20.7.37	Prova di taglio diretto, (ASTM D 3080-04; UNI CEN ISO/TS 17892-10:2005) da eseguire su almeno n.3 provini con scatola di Casagrande in condizione consolidata – drenata (CD) con rilievo e diagrammazione delle curve cedimenti/tempo e tensioni – deformazioni:  2) con velocità di rottura compresa tra 0,02 mm/min e 0,002 mm/min - per ogni provino				
	per ogni provino	cad	122	30,00	3.657,00 €
20.7.39	Prova triassiale non consolidata – non drenata (UU) (ASTM D 2850-03; UNI CEN ISO/TS 17892-8:2005) da effettuare su almeno n.3 provini di diametro Ø 38 mm, altezza Ø 76 mm, : 1) senza saturazione preliminare e senza misura della pressione nei pori: - per ogni provino	cad			
	per ogni provino	cad	63	30,00	1.890,00 €
20.8.1.1	Determinazione dell'indice di Schmidt su campione di roccia mediante sclerometro	cad	30	30,00	900,00 €
20.8.1.3	Preparazione di provini cilindrici mediante taglio e rettifica meccanica ricavati da carote dello stesso diametro	cad	30	30,00	900,00 €
20.8.1.5	Preparazione taglio e rettifica di provini cubici ricavati da campioni informi	cad	8	30,00	240,00 €
20.8.1.6	Determinazione della durezza Mohs (UNI EN 101:1992)	cad	10	30,00	300,00 €
20.8.2.1	Determinazione contenuto d'acqua	cad	20	30,00	600,00 €
20.8.3.1	Point Load Strenght	cad	30	34,83	1.044,90 €
20.8.3.2	Resistenza a compressione monoassiale	cad	25	30,00	750,00 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>					<b>33.969,50 €</b>
<b>ANALISI CHIMICHE PER INDAGINI AMBIENTALI</b>					
	per ogni campione	cad	500	120,00	60.000,00 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>					<b>60.000,00 €</b>
<b>TOTALE</b>					<b>1.338.136,31 €</b>
Prezzari di riferimento: Prezzario Regione Siciliana anno 2018 - 17904 - Prezzario Ansig 2015					

Computo Indagini geognostiche e geotecniche Ponte sul Fiume Oreto					
Art.	Descrizione	U.d.m.	Quantità totale	Prezzo unitario (€)	Importo (€)
<b>SONDAGGI</b>					
20.3.1	Approntamento ed installazione sul primo foro di attrezzatura per sondaggi a rotazione compreso il carico e scarico, trasporto in andata e ritorno , piste di accesso e piazzole e quant'altro occorre. A corpo	n	1	2.727,49	2.727,49 €
20.3.2	Intallazione di attrezzatura per sondaggi arotazione in corrispondenza degli altri punti di perforazione escluso il primo, compresa esecuzione di piazzola, onero per montaggio e smontaggio e quant'altro occorre. Per ogni installazione esclusa la prima	n	4	272,75	1.091,00 €
20.3.3	Perforazione ad andamento verticale eseguita a rotazione, a distruzione di nucleo del diametro 85-145 mm eseguita anche in presenza di falda escluso eventuale rivestimento da compensarsi a parte, in terreni di qualsiasi consistenza e natura escluse rocce lapidee tenaci, compreso estrazione e schema planimetrico del foro				
20.3.3.1	Per profondità comprese fra 0,00 - 30 m	m	150	73,96	11.094,00 €
20.3.3.1	Per profondità comprese tra 30,01 e 60,00 m	m	40	81,67	3.266,80 €
20.3.4	Sovraprezzo alla voce 20.3.1 per i tratti a carotaggio in terreni di qualsiasi consistenza e natura escluso rocce in trovanti lapidei per l'attraversamento die quali è richiesto l'impiego di corone diamantate. Compresa la conservazione in cantiere delle carote in apposite cassette catalogatrici quotate				
20.3.4.1	Per profondità comprese fra 0,00 - 30 m	m	150	23,80	3.570,00 €
20.3.4.2	Per profondità comprese tra 30,01 e 60,00 m	m	40	31,20	1.248,00 €
20.3.6	Compenso addizionale per l'attraversamento di strato di roccia lapidea tenace di spessore > 50 cm che richiede l'uso di corone diamantate	m	50	29,43	1.471,50 €
20.3.7	Sovraprezzo alle voci 20.3.3 + 20.3.4 per l'uso di doppio carotiere da applicarsi per i soli tratti dell'impiego. Per profondità sino a 60,00 m	m	190	11,77	2.236,30 €
20.3.8.1	Sovraprezzo per uso di rivestimenti metallici provvisori compreso l'utilizzo di acqua come fluido di perforazione	m	190	11,26	2.139,40 €
20.3.8.2	Sovraprezzo per uso di bentonite in aggiunta ai rivestimenti metallici	m	190	8,26	1.569,40 €
20.3.9	Prelievo di campioni rimaneggiati nel corso dell'esecuzione dei sondaggi e e loro conservazione entro appositi contenitori trasparenti chiusi ermeticamente. Compresa etichettatura, trasporto al laboratorio di analisi ecc	n	55	7,70	423,50 €
20.3.12.1	Prelievo di campioni indisturbati con campionatore rotativo fra 0-30 m	n	5	107,57	537,85 €
20.3.12.2	Prelievo di campioni indisturbati con campionatore rotativo fra 30-60 m	n	9	118,54	1.066,86 €
IG.05.035	Cassette catalogatrici di dimensioni 0,5x1m scompartate compreso l'onere delle indicazioni e l'invio al magazzino indicato dalla DL	cad	38	32,10	1.219,80 €
20.3.14	Assistenza continua alle indagini geognostiche, redazione e certificazione della colonna geostratigrafica dei litotipi attraversati nel singolo sondaggio redatta in scala adeguata ed ai sensi del D.M 14/01/08 e ss.mm.ii. e relativa documentazione fotografica del foro di sondaggio e delle carote.				
20.3.14.1	tra 0 e 30 m	n	150	17,76	2.664,00 €
20.3.14.2	tra 30 e 60 m	n	40	18,94	757,60 €
20.3.15	Approvvigionamento acqua necessaria alle trivellazioni contenuta in serbatoio di almeno 3.000 l compreso ogni onere per trasporto in andata e ritorno dal cantiere. Per ogni trasporto	n	30	123,38	3.701,40 €

20.4.2	Prova di permeabilità per immissione di acqua in fori di sondaggi a rotazione, a carico costante o variabile, compresa la collocazione di tubi prova corredati di uno o due otturatori ad espansione nonché la fornitura d'acqua e l'approntamento dell'apparecchiatura esterna per misurazione livello dell'acqua, la pressione di immissione ed il contatore per la portata immessa				
20.4.2.1	Approntamento attrezzatura in cantiere da pagare una sola volta	n	1	113,89	113,89 €
20.4.2.2	Predisposizione foro per prova di permeabilità. Per ciascun foro	n	5	190,81	954,05 €
	Predisposizione foro per prova di permeabilità. Per ciascuna prova	n	16	265,50	4.248,00 €
20.5.5	Prova penetrometrica dinamica continua (SPT) eseguita nel corso di sondaggio rotazione con campionatore tipo Raymond o simile compreso l'approntamento attrezzatura, profilo penetrometrico e relazione illustrativa				
20.5.5.1	Per profondità 0 - 30 m	n	15	105,79	1.586,85 €
20.5.5.2	Per profondità 30,01 - 60 m	n	2	119,59	239,18 €
17P04L05.005	Approntamento attrezzatura per prova dilatometrica compresa fornitura e trasporto delle attrezzature necessarie. Per ogni approntamento	cad	1	425,36	425,36 €
17P04L10.005	Installazione prova dilatometrica in foro di sondaggio	cad	9	175,83	1.582,47 €
17P04L15.005	Prova dilatometrica con almeno 3 cicli di carico e scarico e almeno 5 incrementi per ogni ciclo compresa la restituzione dei dati in graficie tabelle, compresa l'installazione sulla verticale d'indagine, l'ispezione del foro con sonda televisiva, compensata la sosta dell'attrezzatura di sondaggio. Per ogni prova entro 25 m da p.c.	cad	5	1.044,47	5.222,35 €
17P04L20.005	Prova dilatometrica con almeno 3 cicli di carico e scarico e almeno 5 incrementi per ogni ciclo compresa la restituzione dei dati in graficie tabelle, compresa l'installazione sulla verticale d'indagine, l'ispezione del foro con sonda televisiva, compensata la sosta dell'attrezzatura di sondaggio. Per ogni prova da 25 a 50 m da p.c.	cad	4	1.124,99	4.499,96 €
20.6.1	Predisposizione fori per posa in opera di strumentazione geotecnica per diametri compresi fra 90 e 100 mm	cad	5	37,06	185,30 €
20.6.2.2	Installazione piezometri a tubo aperto in PVC microfessurato in fori già predisposti. Per tubo installato del diametro da 3"	m	90	36,00	3.240,00 €
20.6.6	Rilievo di falda acquifera su piezometro già predisposto compreso resituzione grafica. Per ogni rilievo	cad	15	13,16	197,40 €
20.6.15	Pozzetti di protezione della strumentazione geotecnica in conglomerato cementizio provvisti di coperchio e lucchetto	cad	3	142,03	426,09 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>					<b>63.705,80 €</b>
<b>GEOFISICA</b>					
20.1.6.1	Profilo sismico a rifrazione eseguito con apparecchiatura elettronica multicanale ad alta precisione ed a segnale incrementale, comprensivo dell'approntamento, trasporto in andata e ritorno ed installazione attrezzatura in ciascun punto di sondaggio, stesa cavi, energizzazione con massa battente o fucile a cartuccia industriale, lettura dei primi arrivi, esecuzione delle dromocrone, diretta e inversa delle onde longitudinali, interpretazione dei dati comprendente la individuazione dei tratti corrispondenti a diversi rifrattori, calcolo velocità apparenti, definizione dei diversi strati in spessori e velocità, costruzione delle simsosezioni e relazione interpretativa. Per ogni sondaggio completo in andata e ritorno non inferiore a 5 scoppi, con stendimento di lunghezza non superiore a 25.	cad	6	484,44	2.906,64 €
20.1.5.2	Per stendimento di lunghezza superiore a 25 m; per ogni metro oltre i primi 25 m	m	750	1,73	1.297,50 €

20.1.11	Sondaggio sismico tipo down hole eseguito con geofono tridirezionale, ...energizzazione in superficie con opportuno procedimento atto a generare onde P ed S...compreso di analisi dei dati e relativa interpretazione, costruzione dei profili ID dei moduli elastici, il calcolo del Vs30 e relazione riepilogativa. La predisposizione della prova comprende l'utilizzo di tubazione in HPDE				
20.1.11.1	predisposizione del foro	m	100	40,37	4.037,00 €
20.1.11.2	Approntamento e installazione attrezzature per ogni sondaggio	cad	2	230,69	461,38 €
20.1.11.3	Per ogni punto di misura in foro e determinazione della Vp e Vs	cad	100	75,70	7.570,00 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>					<b>16.272,52 €</b>
<b>PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO</b>					
20.7.1	Apertura campione in fustella cilindrica mediante estrusione, compreso riconoscimento e descrizione del campione di roccia sciolta o lapidea e compresa la fotografia	cad	14	19,01	266,14 €
20.7.2	Apertura di campione rimaneggiato contenuto in sacchetto o altro contenitore compresa la descrizione, analisi preliminare	cad	55	11,41	627,55 €
20.7.3	Determinazione contenuto naturale d'acqua	cad	14	9,13	127,82 €
20.7.4	Determinazione del peso dell'unità di volume mediante fustella tarata sulla media di 3 provini	cad	14	11,63	162,82 €
20.7.6	Determinazione del contenuto di carbonato di calcio con calcimetro	cad	30	10,28	308,40 €
20.7.8	Determinazione del peso di volume con bilancia idrostatica	cad	30	14,32	429,60 €
20.7.9	Analisi granulometrica per setacciatura (UNICEN ISO/TS 17892-4; ASTM D 422-63)	cad	20	43,63	872,60 €
20.7.12	Analisi granulometrica mediante aerometro	cad	10	54,51	545,10 €
20.7.15	Determinazione dei limiti di liquidità e di plasticità	cad	10	56,70	567,00 €
20.7.23	Prova di consolidazione edometrica a incrementi di carico controllati	cad	4	335,92	1.343,68 €
20.7.25	Sovrapprezzo per il calcolo e la preparazione del diagramma logE/logsv	cad	4	12,42	49,68 €
20.7.27	Determinazione durante prova edometrica coefficiente Cv, Kv, Mv compresi i diagrammi cedimenti/tempo	cad	4	21,96	87,84 €
20.7.36	Prova di compressione semplice con rilievo della curva tensioni/deformazioni	cad	15	40,80	612,00 €
20.7.37.3	Prova di taglio diretto da eseguire su 3 provini con scatola di Casagrande in condizioni CD con velocità < 0,002mm/min	cad	12	158,62	1.903,44 €
20.7.41.2	Prova triassiale consolidata drenata da effettuare su almeno 3 provini con saturazione preliminare	cad	12	271,93	3.263,16 €
20.7.39.2	Prova triassiale non consolidata non drenata da effettuare su almeno 3 provini con saturazione preliminare	cad	12	81,59	979,08 €
20.8.1.1	Determinazione dell'indice di Schmidt su campione di roccia mediante sclerometro	cad	30	19,03	570,90 €
20.8.1.3	Preparazione di provini cilindrici mediante taglio e rettifica meccanica ricavati da carote dello stesso diametro	cad	30	18,42	552,60 €
20.8.1.5	Preparazione taglio e rettifica di provini cubici ricavati da campioni informi	cad	8	34,83	278,64 €
20.8.1.6	Determinazione della durezza Mohs (UNI EN 101:1992)	cad	10	40,22	402,20 €
20.8.2.1	Determinazione contenuto d'acqua	cad	20	13,28	265,60 €
20.8.3.1	Point Load Strenght	cad	30	34,83	1.044,90 €
20.8.3.2	Resistenza a compressione monoassiale	cad	25	35,26	881,50 €
20.8.3.3	Resistenza a compressione monoassiale con determinazione del modulo di Young	cad	12	184,20	2.210,40 €
20.8.3.10	Prova di resistenza a trazione indiretta o prova "Brasiliana"	cad	15	20,39	305,85 €
20.8.4.9	Determinazione della resistenza a frammentazione Los Angeles	cad	2	105,75	211,50 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>					<b>18.870,00 €</b>
<b>TOTALE</b>					<b>98.848,32</b>

Prezzari di riferimento: Prezzario Regione Siciliana anno 2010 - 17P04 - Prezzario Antbig 2015

Parcheggi					
Computo Indagini geognostiche e geotecniche					
Art.	Descrizione	U.d.m.	Quantità totale	Prezzo unitario (€)	Importo (€)
<b>SONDAGGI</b>					
20.3.1	Approntamento ed installazione sul primo foro di attrezzatura per sondaggi a rotazione compreso il carico e scarico, trasporto in andata e ritorno, piste di accesso e piazzole e quant'altro occorre. A corpo	n	1	2.727,49	2.727,49 €
20.3.2	Installazione di attrezzatura per sondaggi a rotazione in corrispondenza degli altri punti di perforazione escluso il primo, compresa esecuzione di piazzola, onero per montaggio e smontaggio e quant'altro occorre. Per ogni installazione esclusa la prima	n	43	272,75	11.728,25 €
20.3.3	Perforazione ad andamento verticale eseguita a rotazione, a distruzione di nucleo del diametro 85-145 mm eseguita anche in presenza di falda escluso eventuale rivestimento da compensarsi a parte, in terreni di				
20.3.3.1	Per profondità comprese fra 0,00 - 30 m	m	840	73,96	62.126,40 €
20.3.3.1	Per profondità comprese tra 30,01 e 60,00 m	m	450	81,67	36.751,50 €
20.3.7	Sovraprezzo alle voci 20.3.3 + 20.3.4 per l'uso di doppio carotiere da applicarsi per i soli tratti dell'impiego. Per profondità sino a 60,00 m	m	1290	11,77	15.183,30 €
20.3.8.1	Sovraprezzo per uso di rivestimenti metallici provvisori compreso l'utilizzo di acqua come fluido di perforazione	m	700	11,26	7.882,00 €
20.3.8.2	Sovraprezzo per uso di bentonite in aggiunta ai rivestimenti metallici	m	700	8,26	5.782,00 €
20.3.9	Prelievo di campioni rimaneggiati nel corso dell'esecuzione dei sondaggi e e loro conservazione entro appositi contenitori trasparenti chiusi ermeticamente. Compresa etichettatura, trasporto al laboratorio di analisi ecc	n	100	7,70	770,00 €
20.3.12.1	Prelievo di campioni indisturbati con campionatore rotativo fra 0-30 m	n	80	107,57	8.605,60 €
20.3.12.2	Prelievo di campioni indisturbati con campionatore rotativo fra 30-60 m	n	20	118,54	2.370,80 €
IG.05.035	Cassette catalogatrici di dimensioni 0,5x1m scompartate compreso l'onere delle indicazioni l'invio al magazzino indicato dalla DL	cad	258	32,10	8.281,80 €
20.3.14.1	Assistenza continua alle indagini geognostiche, redazione e certificazione della colonna geostratigrafica dei litotipi attraversati nel singolo sondaggio redatta in scala adeguata ed ai sensi del D.M 14/01/08 e ss.mm.ii. e relativa documentazione fotografica del foro di sondaggio e delle carote. - tra 0 e 30 m	n	840	17,76	14.918,40 €
20.3.14.2	- tra 30 e 60 m	n	450	18,94	8.523,00 €
20.3.15	Approvvigionamento acqua necessaria alle trivellazioni contenuta in serbatoio di almeno 3.000 l compreso ogni onere per trasporto in andata e ritorno dal cantiere. Per ogni trasporto	n	30	123,38	3.701,40 €
20.4.2	Prova di permeabilità per immissione di acqua in fori di sondaggi a rotazione, a carico costante o variabile, compresa la collocazione di tubi prova corredati di uno o due otturatori ad espansione nonché la fornitura d'acqua e l'approntamento dell'apparecchiatura esterna per misurazione livello dell'acqua, la pressione di immissione ed il contatore per la portata immessa				

20.4.2.1	Approntamento attrezzatura in cantiere da pagare una sola volta	n	1	113,89	113,89 €
20.4.2.2	Predisposizione foro per prova di permeabilità. Per ciascun foro	n	10	190,81	1.908,10 €
	Predisposizione foro per prova di permeabilità. Per ciascuna prova	n	20	265,50	5.310,00 €
20.5.5	Prova penetrometrica dinamica continua (SPT) eseguita nel corso di sondaggio rotazione con campionatore tipo Raymond o simile compreso l'approntamento attrezzatura, profilo penetrometrico e relazione illustrativa				
20.5.5.1	Per profondità 0 - 30 m	n	50	105,79	5.289,50 €
20.5.5.2	Per profondità 30,01 - 60 m	n	15	119,59	1.793,85 €
20.6.1	Predisposizione fori per posa in opera di strumentazione geotecnica per diametri compresi fra 90 e 100 mm	cad	20	37,06	741,20 €
20.6.2.2	Installazione piezometri a tubo aperto in PVC microfessurato in fori già predisposti. Per tubo installato del diametro da 3"	m	300	36,00	10.800,00 €
20.6.6	Rilievo di falda acquifera su piezometro già predisposto compreso resituzione grafica. Per ogni rilievo	cad	15	13,16	197,40 €
20.6.15	Pozzetti di protezione della strumentazione geotecnica in conglomerato cementizio provvisti di coperchio e lucchetto	cad	20	142,03	2.840,60 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>				<b>218.346,48 €</b>	
<b>GEOFISICA</b>					
20.1.11	Sondaggio sismico tipo down hole eseguito con geofono tridirezionale, ...energizzazione in superficie con opportuno procedimento atto a generare onde P ed S..compreso di analisi dei dati e relativa interpretazione, costruzione dei profili ID dei moduli elastici, il calcolo del Vs30 e relazione riepilogativa. La predisposizione della prova comprende l'utilizzo di tubazione in HPDE				
20.1.11.1	predisposizione del foro	m	500	40,37	20.185,00 €
20.1.11.2	Approntamento e installazione attrezzature per ogni sondaggio	cad	10	230,69	2.306,90 €
20.1.11.3	Per ogni punto di misura in foro e determinazione della Vp e Vs	cad	500	75,70	37.850,00 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>				<b>60.341,90 €</b>	
<b>PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO</b>					
20.7.1	Apertura campione in fustella cilindrica mediante estrusione, compreso riconoscimento e descrizione del campione di roccia sciolta o lapidea e compresa la fotografia	cad	100	19,01	1.901,00 €
20.7.2	Apertura di campione rimaneggiato contenuto in sacchetto o altro contenitore compresa la descrizione, analisi preliminare	cad	100	11,41	1.141,00 €
20.7.3	Determinazione contenuto naturale d'acqua	cad	100	9,13	913,00 €
20.7.4	Determinazione del peso dell'unità di volume mediante fustella tarata sulla media di 3 provini	cad	100	11,63	1.163,00 €
20.7.6	Determinazione del contenuto di carbonato di calcio con calcimetro	cad	100	10,28	1.028,00 €
20.7.8	Determinazione del peso di volume con bilancia idrostatica	cad	100	14,32	1.432,00 €
20.7.9	Analisi granulometrica per setacciatura (UNICEN ISO/TS 17892-4; ASTM D 422-63)	cad	100	43,63	4.363,00 €
20.7.12	Analisi granulometrica mediante aerometro	cad	100	54,51	5.451,00 €
20.7.15	Determinazione dei limiti di liquidità e di plasticità	cad	100	56,70	5.670,00 €
20.7.23	Prova di consolidazione edometrica a incrementi di carico controllati	cad	6	335,92	2.015,52 €
20.7.25	Sovrapprezzo per il calcolo e la preparazione del diagramma logE/logsv	cad	6	12,42	74,52 €
20.7.27	Determinazione durante prova edometrica coefficiente Cv, Kv, Mv compresi i diagrammi cedimenti/tempo	cad	6	21,96	131,76 €
20.7.36	Prova di compressione semplice con rilievo della curva tensioni/deformazioni	cad	30	40,80	1.224,00 €

20.7.37.3	Prova di taglio diretto da eseguire su 3 provini con scatola di Casagrande in condizioni CD con velocità < 0,002mm/min	cad	90	158,62	14.275,80 €
20.7.41.2	Prova triassiale consolidata drenata da effettuare su almeno 3 provini con saturazione preliminare	cad	30	271,93	8.157,90 €
20.7.39.2	Prova triassiale non consolidata non drenata da effettuare su almeno 3 provini con saturazione preliminare	cad	45	81,59	3.671,55 €
20.8.1.1	Determinazione dell'indice di Schmidt su campione di roccia mediante sclerometro	cad	30	19,03	570,90 €
20.8.1.3	Preparazione di provini cilindrici mediante taglio e rettifica meccanica ricavati da carote dello stesso diametro	cad	30	18,42	552,60 €
20.8.1.5	Preparazione taglio e rettifica di provini cubici ricavati da campioni informi	cad	8	34,83	278,64 €
20.8.1.6	Determinazione della durezza Mohs (UNI EN 101:1992)	cad	10	40,22	402,20 €
20.8.2.1	Determinazione contenuto d'acqua	cad	20	13,28	265,60 €
20.8.3.1	Point Load Strenght	cad	30	34,83	1.044,90 €
20.8.3.2	Resistenza a compressione monoassiale	cad	40	35,26	1.410,40 €
20.8.3.3	Resistenza a compressione monoassiale con determinazione dle modulo di Young	cad	15	184,20	2.763,00 €
<b>TOTALE PARZIALE</b>					<b>59.901,29</b>
<b>TOTALE GENERALE</b>					<b>338.589,67 €</b>
Prezzari di riferimento: Prezzario Regione Siciliana anno 2010 - 17P04. Prezzario Anisig 2015					



# LEGENDA Inquadramento Geologico

## DEPOSITI QUATERNARI

**RSU** Discarica di rifiuti solidi urbani  
ATTUALE

**AAE** Accumulo antropico recente  
ATTUALE - RECENTE

**AAA** Accumulo antropico antico  
ATTUALE - STORICO

### SINTEMA DI CAPO PLAIA

**AFL** Depositi di frana (AFLa1) - Detrito di Falda (AFLa3) - Depositi di fondovalle (AFLb) - Coltre eluvio colluviale (AFLb2) - Depositi eolici in fasce di duna costiera (AFLd) - Depositi lacustri e/o palustri (AFLc3) - Travertino (AFLf) - Depositi di spiaggia (AFLg2) - Deposito torrentizio o conoide (AFLi) - PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE

### SINTEMA DI RAFFO ROSSO

**RFR** Detrito di falda ed eolianiti stratificati e cementati con intercalazioni di paleosuoli  
PLEISTOCENE SUP.

### SINTEMA DI BARCARELLO

**SET** Calcareniti e conglomerati a *Strombus bubonius*  
PLEISTOCENE SUP. - TIRRENIANO

### SINTEMA DELL'ORETO

**REO1** SubSistema Aquino - Depositi fluviali terrazzati  
PLEISTOCENE MEDIO - SUP.

### SINTEMA DI BENINCASA

**BNI** Depositi colluviali continentali  
PLEISTOCENE MEDIO - SUP.

### SINTEMA DI POLISANO

**BLT** Arenarie e sabbie quarzose di deposizione eolica  
PLEISTOCENE MEDIO

### SINTEMA DI BUONFORNELLO

**BCP1** Sabbie ghiaie e conglomerati di deposizione costiero-marina  
PLEISTOCENE MEDIO

**BCP3** Sabbie e conglomerati di deposizione costiero-marina  
PLEISTOCENE MEDIO

**BCP2** Depositi marini sabbioso ciottoloso di spiaggia emersa  
PLEISTOCENE MEDIO

### SINTEMA DELLA PIANA DI PARTINICO

**SNPZ** Depositi marini o di spiaggia passanti a depositi continentali depositatisi su superfici di abrasione marina  
PLEISTOCENE MEDIO

### SINTEMA DI MARSALA

**MBSM** Calcareniti di Palermo - Calcareniti e sabbie bioclastiche e marne di colore giallo e biancastro  
EMILIANO P.P. - SICILIANO

**MBSs** Argille di Ficarazzi - Sabbie fini siliose grigio azzurre  
EMILIANO P.P. - SICILIANO

## SUCCESSIONI DEL BACINO DEL FLYSCH NUMIDICO

**FYN** Flysch Numidico - Membro di Portella Colla - Argilliti siliose e peliti di color tabacco con sottili intercalazioni quarzarenitiche  
OLIGOCENE SUP. - MIOCENE INF.

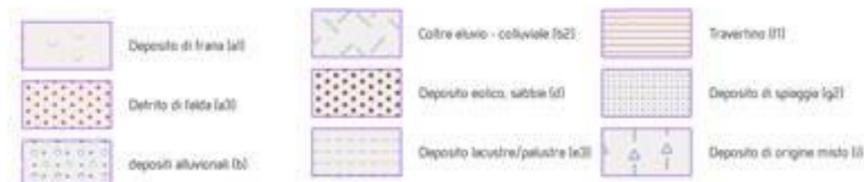
## SUCCESSIONI DEL DOMINIO IMERESE

**Din** - Successione bacinale silico carbonatica, TRIAS SUP. - OLOGOCENE  
Formazione Crisanti:  
CR1 - Membro delle radiolariti, Radiolariti e argilliti silicee di colore da bruno nerastro a rosso vinaccia e verdi  
CORCIANO SUP. - TITONICO INF.  
CR2 - Membro breccia ad Ellipsactinid - Breccie calcaree e biocalcareni risedimentata grigie in strati e banchi  
TITONICO SUP. - NEOCOMBIANO

## SUCCESSIONI DELLA PIATTAFORMA CARBONATICA PANORMIDE

**PCPa** Successione di piattaforma carbonatica  
TRIASSICO SUP. - EOCENE

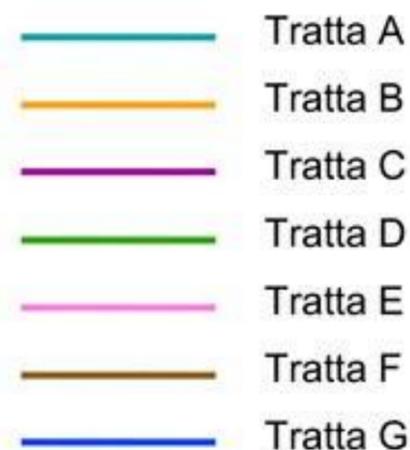
## SOVRASSEGNI DELLE UNITA' QUATERNARIE



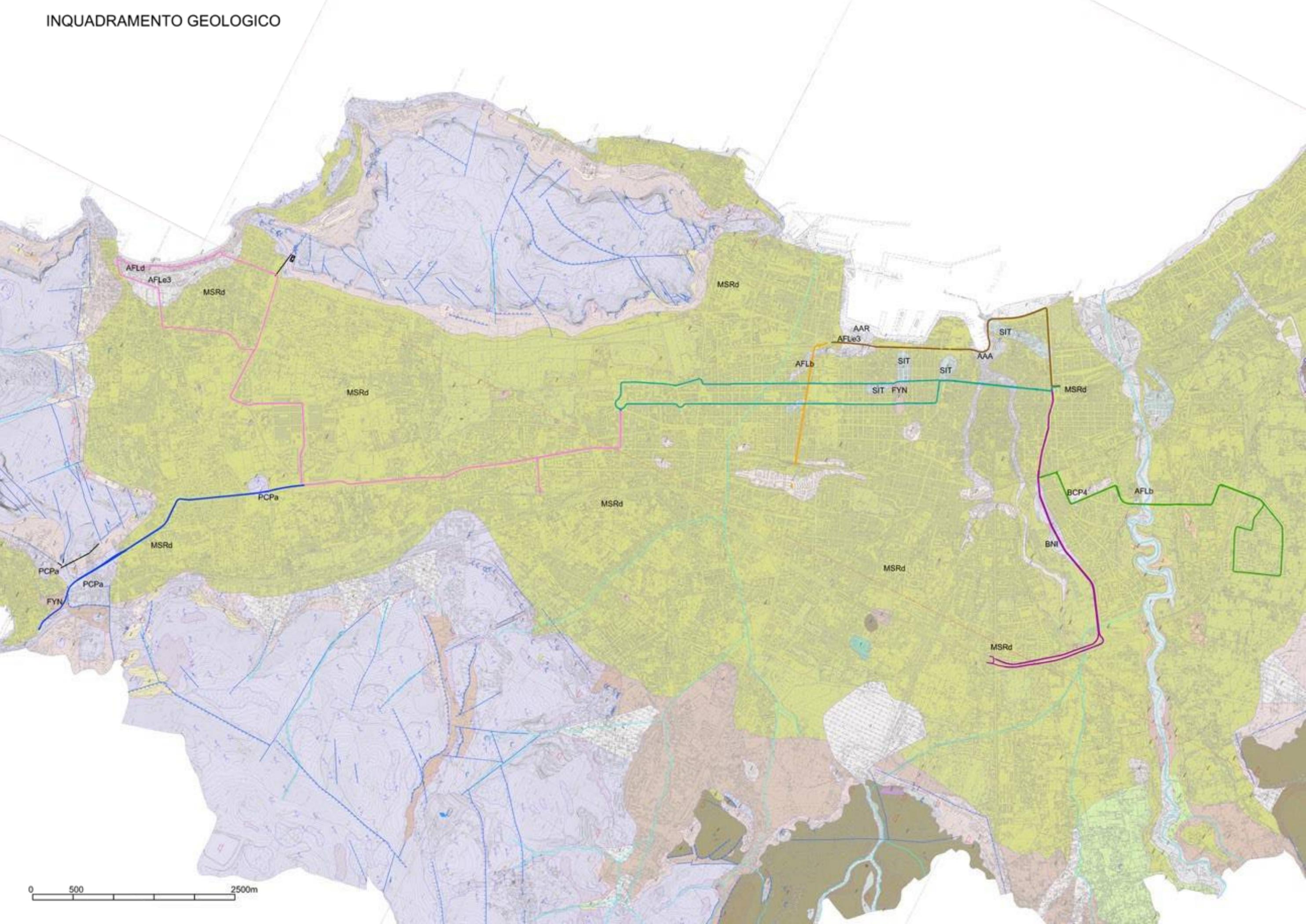
## SIMBOLI E SEGNI CONVENZIONALI



## Legenda Tracciati



# INQUADRAMENTO GEOLOGICO



## LEGENDA

### Inquadramento Pericolosità Geologica

Pericolosità geomorfologica (frane, crolli, cavità sotterranee)

 Pericolosità non determinata

 P0 - Pericolosità geomorfologica molto bassa

 P1 - Pericolosità geomorfologica bassa

 P2 - Pericolosità geomorfologica moderata

 P3 - Pericolosità geomorfologica elevata

 P4 - Pericolosità geomorfologica molto elevata

 sito di attenzione geomorfologico  
per presenza di cavità sotterranee

Pericolosità idraulica

 P1 - Pericolosità bassa per fenomeni di esondazione

 P2 - Pericolosità moderata per fenomeni di esondazione

 P3 - Pericolosità elevata per fenomeni di esondazione

 P4 - Pericolosità molto elevata per fenomeni di esondazione

 Sito di attenzione per possibili fenomeni di esondazione

Altra pericolosità

 Aree interessate da fenomeni di subsidenza

## Legenda Tracciati

 Tratta A

 Tratta B

 Tratta C

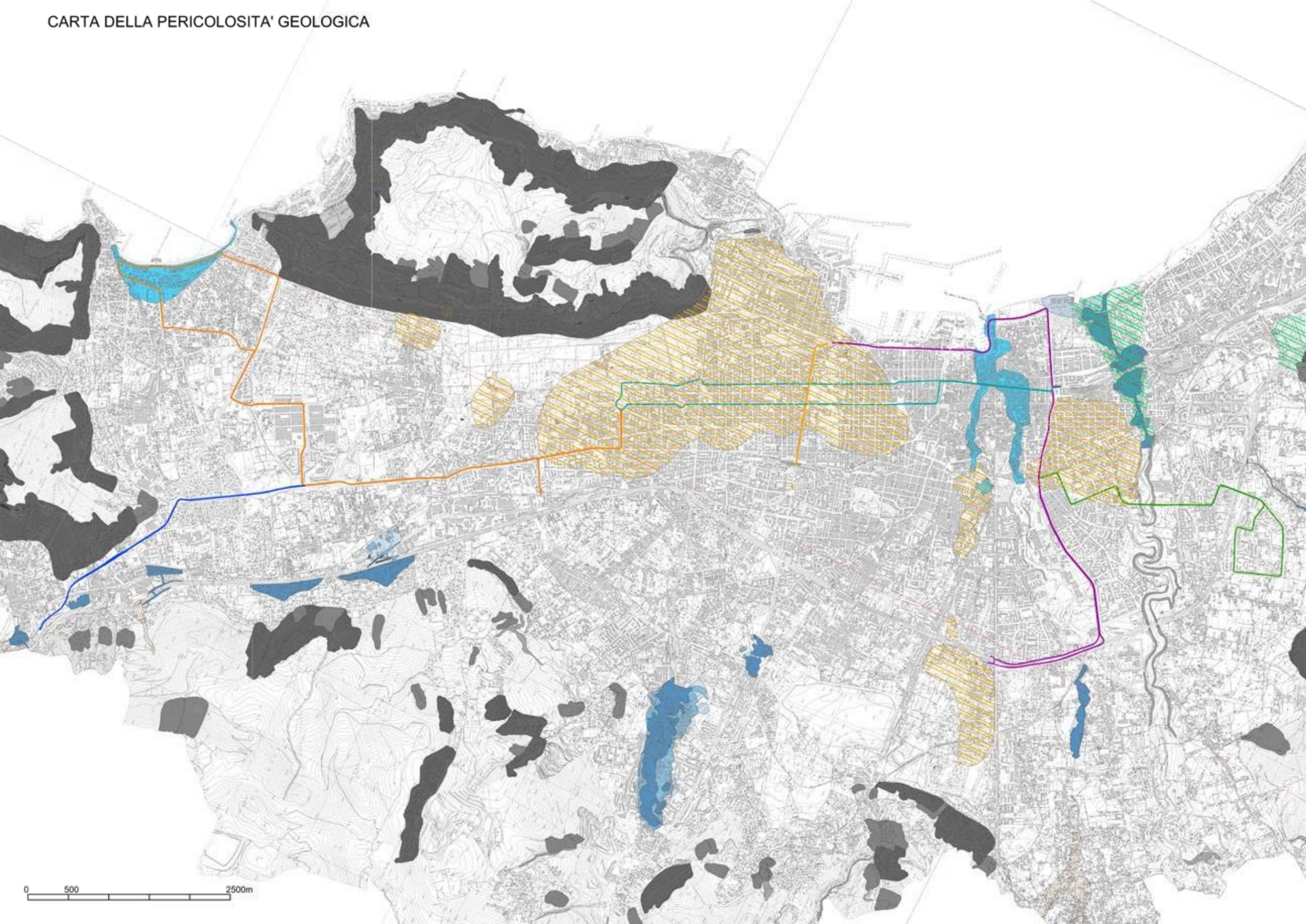
 Tratta D

 Tratta E

 Tratta F

 Tratta G

CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA



## LEGENDA Inquadramento Pericolosità Sismica

### I Gruppo di scenari di Pericolosità Sismica Potenziale

- Zone potenzialmente sede di instabilità dei versanti per presenza di frane, pendii con cadute massi, deformazioni superficiali lente, aree poste ai margini di scarpata.

### II Gruppo di scenari di Pericolosità Sismica Potenziale

- Discarica di Rifiuti Solidi Urbani
- Accumuli antropici antichi e recenti
- Depositi di fondo valle e torrentizi (conoidi)
- Depositi lacustri e/o palustri
- Depositi eolici in facies di duna costiera
- Depositi di spiaggia
- Sabbie fini siltose grigio azzurre (Argille di Ficarazzi)
- Detriti di falda

### III Gruppo di scenari di Pericolosità Sismica Potenziale

- Aree sovrastanti cavità di origine antropica (muchate, qanat e ecc.) o cavità di origine carsica (doline).

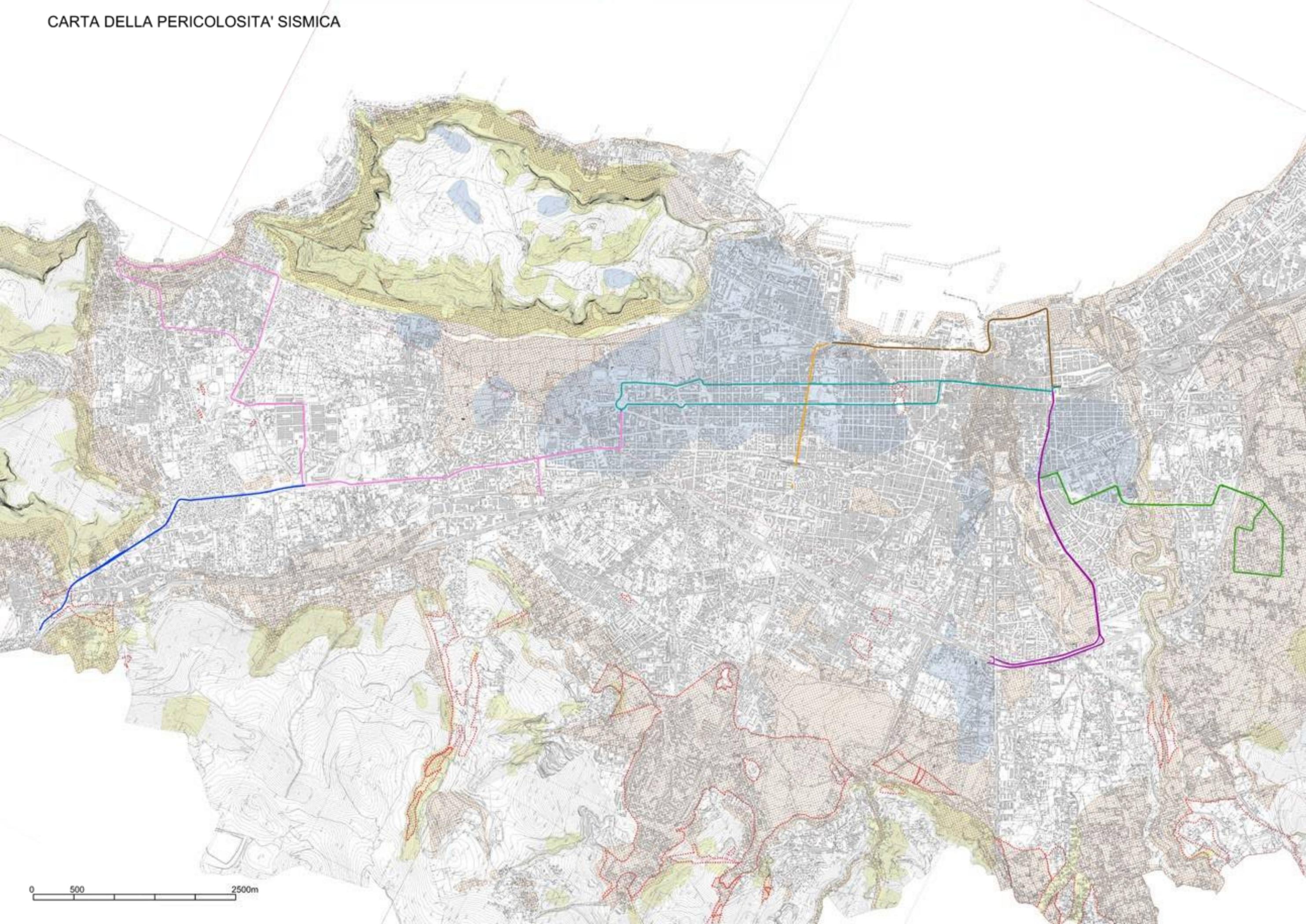
### IV Gruppo di scenari di Pericolosità Sismica Potenziale

- Limiti di discontinuità o limiti stratigrafici che mettono a contatto litologie a comportamento reologico differente.

## Legenda Tracciati

	Tratta A
	Tratta B
	Tratta C
	Tratta D
	Tratta E
	Tratta F
	Tratta G

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA



0 500 2500m