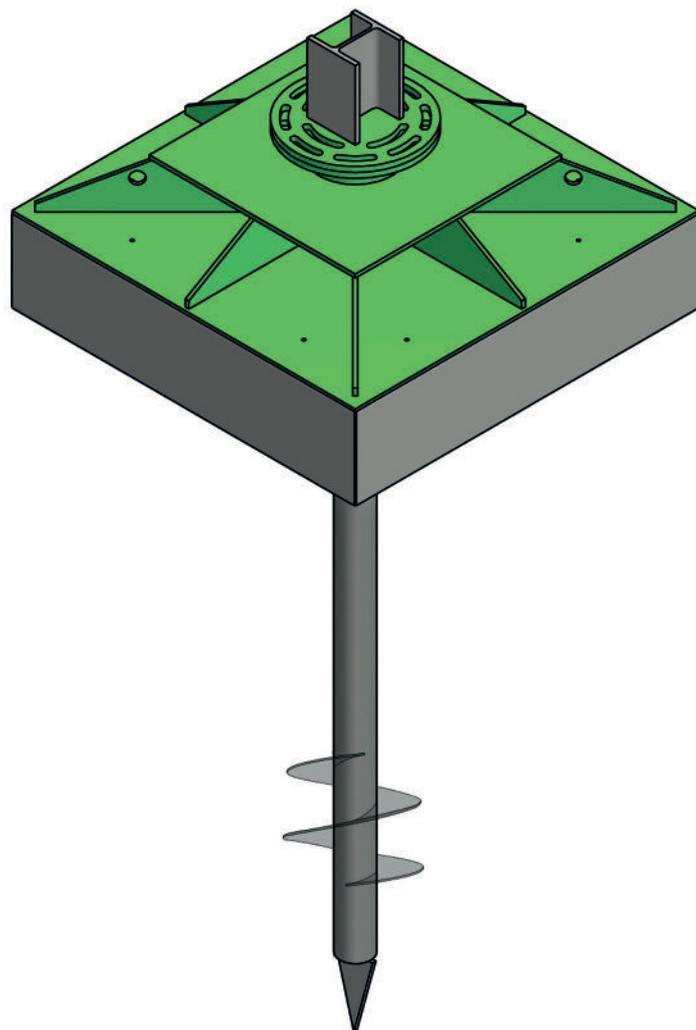


Geosmart mod. GSM-3



Gian Pietro **Frare**
Il sistema fondazionale
prefabbricato ultraleggero
Geosmart®

Indice

PREFAZIONE	9
1 I MATERIALI	10
1.1 LA TIPOLOGIA	10
1.2 LA CAPACITÀ DISSIPATIVA	10
1.3 LA RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE	11
1.4 LE CARATTERISTICHE MECCANICHE	13
1.5 MASSIMA RIDUZIONE DI PESO E VOLUME.....	15
1.6 MINOR COSTO E IMPATTO AMBIENTALE.....	16
2 LA STRUTTURA	17
3 I MODELLI	19
3.1 MODELLI, CARATTERISTICHE E COLLAUDO STATICO	19
3.1.1 Geosmart mod. GSM-1 (Arancio)	20
3.1.2 Geosmart mod. GSM-2 (Blu)	21
3.1.3 Geosmart mod. GSM-3 (Verde)	22
3.1.4 Geosmart mod. GSM-4 (Giallo)	23
3.2 PARTICOLARI COSTRUTTIVI Geosmart mod. GSM-2 (Blu) e GSM-3 (Verde).....	24
4 L'INGEGNERIA DEL PRODOTTO	30
4.1 LA SINERGIA GEOPLINTO - PALO AUTOANCORANTE	30
4.2 IL CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE	31
4.3 LA VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI A COMPRESSIONE.....	32
5 LA POSA IN OPERA	34
6 UN CANTIERE TIPO	36
7 CALCOLO DEL COSTO ECONOMICO	44
7.1 IL PROCEDIMENTO ESTIMATIVO.....	44
7.2 UN ESEMPIO PRATICO	45
8 MARCHIO E BREVETTO (DEPOSITATI)	48
9 VANTAGGI E PUNTI DI FORZA	50

10	LA FILIERA.....	52
10.1	LA PRODUZIONE	52
10.2	L'ASSISTENZA TECNICA DELLA CASA MADRE.....	56
11	UNA RIFLESSIONE E QUALCHE CONSIGLIO.....	57
	BIBLIOGRAFIA	60

PREFAZIONE

L'idea di realizzare un sistema fondazionale a plinto con particolari requisiti tecnici nasce dall'esigenza di concentrare in un'unica struttura la soluzione delle tante esigenze, spesso non facili da soddisfare, che progettisti e costruttori devono affrontare nel realizzare un'opera.

Da oltre un secolo le fondazioni vengono realizzate per lo più in calcestruzzo, materiale facile da produrre e lavorare in cantiere, il quale, una volta solidificato e raggiunta la maturazione nei noti 28 giorni post-getto, viene disarmato dai casseri per poter procedere con le restanti attività.

Tutto apparentemente semplice se non fosse che i lavori preparatori da fare sono parecchi, richiedono tempo e personale capace e abile ad operare anche in situazioni disagiate, spesso con dispendio di energie e costi aggiuntivi che, si sa, si sommano all'importo di spesa preventivato come *una tantum* dovuto ai soliti inevitabili imprevisti e/o varianti in corso d'opera. Oggi però il cliente è molto più informato, attento ed esigente. Vuole che tutta l'opera sia garantita nella qualità dei materiali e delle lavorazioni, che i costi preventivati a capitolato rimangano invariati ed assolutamente dentro il budget di spesa. Chiede quindi risultati ottimali ma soprattutto che siano rispettati i tempi di realizzazione (che spesso *sforano* le più scrupolose previsioni, creando non pochi disagi e ritardi nella consegna) e dunque che la data di fine lavori e consegna dell'opera sia certa e inderogabile. Pena la rottura dei rapporti con il costruttore e la D.L. e, se non bastasse, anche l'avvio di un malaugurato contenzioso che quasi sempre finisce con una riduzione del prezzo pattuito.

Il sistema fondazionale prefabbricato Geosmart rappresenta la risposta a tali esigenze. Solo dopo un lungo periodo di analisi critica e dopo accurate verifiche sulle opere realizzate e approfondimenti tecnico-economici sulle diverse modalità esecutive e sui tempi di realizzazione di fondazioni superficiali e profonde siamo riusciti ad individuare le soluzioni migliori, utili ed indispensabili a soddisfare le varie esigenze dei progettisti e dei costruttori di ultima generazione.

Le fondazioni sono l'elemento iniziale ed indispensabile per un'opera: servono a reggere in sicurezza e per lungo tempo non solo la massa dei carichi incombenti, quindi l'edificio, ma anche il suo valore economico. *Chi ben comincia, dunque, è a metà dell'opera!*

1 I MATERIALI

1.1 LA TIPOLOGIA

Il sistema fondazionale Geosmart è realizzato con materiali sintetici compositi, costituiti in primis da polimeri estrusi ad alta densità, il cui prodotto finale (Geostir) viene utilizzato anche nella nautica per allestire gli scafi delle barche o eseguire le coibentazioni termoacustiche e antivibranti nelle parti interne più sollecitate.

In edilizia l'impiego di questo materiale è utile ad alleggerire il peso di certe strutture, preservando i requisiti di durata, consistenza e funzionalità richiesti dalla normativa.

Le sue tante proprietà consentono infatti di offrire innumerevoli risorse al settore, dove spesso viene fatto un uso sfrenato di calcestruzzo, ritenuto insostituibile con altri materiali offerti dall'industria.

Mentre dunque la parte superiore del corpo di fondazione Geosmart è composta da una struttura a piastre e setti d'acciaio le cui caratteristiche e proprietà sono confinate nel campo delle alte resistenze meccaniche, la parte inferiore, quella basale, è caratterizzata dall'accoppiamento di materiali compositi (come il poliuretano estruso, la gomma antivibrante, il polietilene HDPE o il legno lamellare OSB resinato etc.) le cui proprietà chimico-fisiche e meccaniche, benché adatte alla funzione prevista, molto si differenziano da quelle dell'acciaio con cui vanno ad interfacciarsi.

È proprio la coesistenza di materiali dalle proprietà assai differenti ma fra loro complementari a consentire di individuare in questo sistema fondazionale dei requisiti superlativi, ai quali nessuno prima aveva pensato di ricorrere per migliorare questo importante settore dell'edilizia.

1.2 LA CAPACITÀ DISSIPATIVA

Richiamiamo all'attenzione un esempio utile per capire le proprietà del sistema fondazionale Geosmart: se utilizziamo una scarpa con il plantare morbido e gommoso anziché con il plantare rigido di cuoio, riscontriamo che la comprimibilità della suola sarà sicuramente maggiore.

Non solo: se camminiamo sopra una tavola vibrante, avvertiremo di più le vibrazioni trasmesse nelle soles rigide che in quelle gommose: le seconde, infatti, sono anche un buon ammortizzatore di carico e, quindi, un valido dissipatore di energia.

La parte *molle* della scarpa ha, pertanto, una sua resistenza strutturale che dipende sostanzialmente dalla sua natura e composizione e non è detto che la sua deformazione, per effetto della compressione, comprometta la stabilità del corpo che la comprime; anzi spesso la

aumenta.

Il sistema fondazionale prefabbricato Geosmart è progettato proprio con materiali capaci di dissipare il carico di strutture incombenti che con il loro peso esercitano una sensibile pressione sulla base d'appoggio, assumendo nel contempo anche il ruolo di ammortizzatori.

1.3 LA RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE

Al termine della ricerca condotta sui materiali ritenuti maggiormente idonei alla funzione di plinto fondazionale e dopo aver completato la progettazione strutturale dei prototipi, si è deciso di verificare e documentare con test di laboratorio condotti su dei campioni significativi i valori di quei parametri tecnici che, più di altri, avrebbero consentito la validazione dei materiali prescelti per un loro impiego fondazionale in edilizia.

Allo scopo sono state eseguite delle prove di compressione allo schiacciamento su campioni singoli e sovrapposti a due strati, confinati inferiormente e superiormente da due piastre metalliche spesse 15 mm, tali da formare due piani orizzontali rigidi e paralleli.

Sulla piastra superiore è stato esercitato un carico assiale mediante pressa idraulica da laboratorio da 50 ton, mod. TR115 della Tecnotest (matr. 2001/3); cella di carico utilizzata: AEP Transducer (Mo) matr. 522416 con fondo scala 5000 daN e comparatori digitali Mitutoyo mod. ID-C1050B Matr.08058823, campo di misura 50 mm e unità di formato 0,01 mm.

Evitando di dilungarci sulle procedure di laboratorio, riportiamo di seguito i diagrammi dei risultati ottenuti con i suddetti test e le immagini delle rispettive prove eseguite sui diversi campioni.

Figura 1. Prove di compressione allo schiacciamento - campione singolo



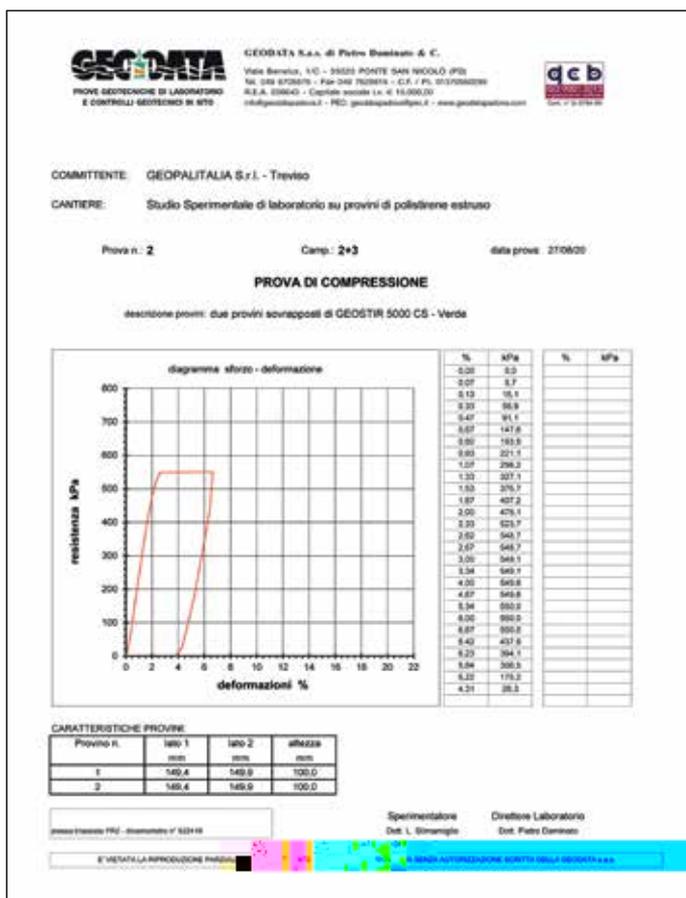


Figura 2. Diagramma prove di compressione - campione singolo

Figura 3. Prove di compressione allo schiacciamento - campioni sovrapposti



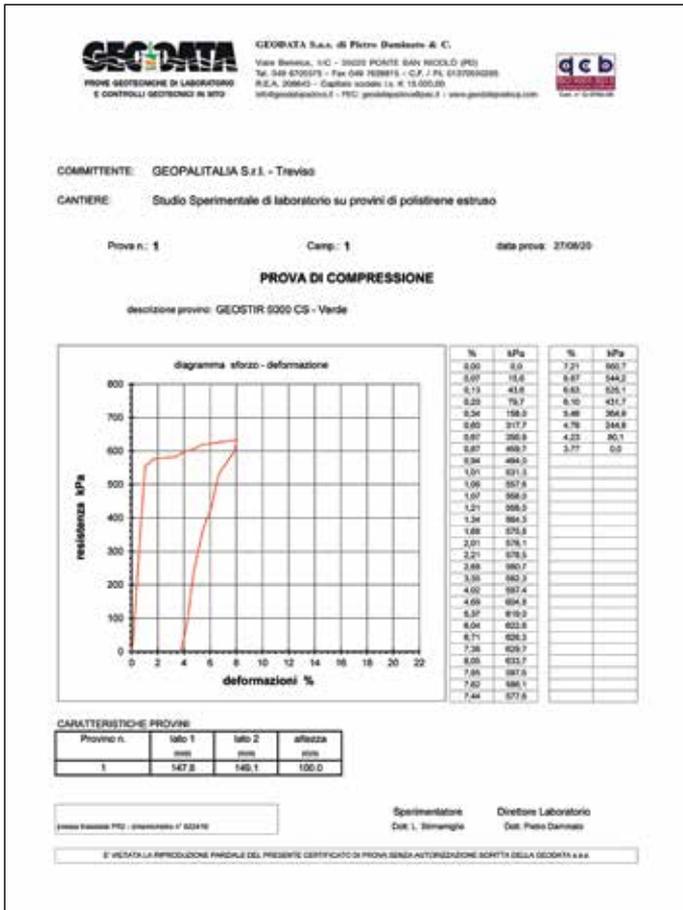


Figura 4. Diagramma prove di compressione - campioni sovrapposti

Stante la particolarità della materia trattata, si coglie l'occasione per ricordare che i prodotti Geosmart sono oggetto di brevettazione e registrazione del marchio.

Pertanto tutti i dati che vengono riportati e documentati con tabelle, grafici, foto e quant'altro non possono essere utilizzati in alcun modo a scopo commerciale o divulgativo di qualsiasi natura e genere se non previa espressa autorizzazione dell'azienda o del soggetto giuridico avente titolo.

Qualsiasi azione di plagio o di confusione commerciale sul mercato recante danno al prodotto e/o all'azienda produttrice sarà differita all'autorità giudiziaria competente.

1.4 LE CARATTERISTICHE MECCANICHE

Allo scopo di consentire una miglior conoscenza e valutazione tecnica dei materiali impiegati, si riportano di seguito alcune tabelle sulle relative caratteristiche meccaniche, di utile impiego per le verifiche del caso.

ACCIAIO PER CARPENTERIA S355-classe resilienza J2 (J0), spessori <40 mm	
Tensione di rottura f_{tk} [MPa]	510
Tensione di snervamento f_{yk} [MPa]	355
Modulo elastico E_s [MPa]	210.000
Coefficiente di sicurezza γ_s	1,25
Tensione di snervamento di progetto f_{yd} [MPa]	285
Tensione di rottura di progetto f_{td} [Mpa]	408

Tabella 1. Acciaio S355, sp.<40 mm

ACCIAIO PER BULLONI Classe bulloni 8.8	
Resistenza ultima f_{tb} [MPa]	800
Resistenza di snervamento f_{yb} [MPa]	640
Modulo elastico E_s [MPa]	210.000
Coefficiente di sicurezza γ_s	1,25
Resistenza a snervamento di progetto f_{ybd} [MPa]	512

Tabella 2. Caratteristiche meccaniche bulloni

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO Geostir® 2500 C	
valore della resistenza a compressione al 10% di schiacciamento secondo EN 826 [Mpa]	0,3 per spessori > 60 mm
densità ρ [kg/mc]	29
modulo elastico a compressione E [Mpa]	10
temperatura limite di esercizio [°C]	(-50 / +75)

Tabella 3. Caratteristiche metalliche polistirene espanso estruso

PANNELLO A SCAGLIE ORIENTATE OSB3	
modulo elastico longitudinale E_l [Mpa]	4.000
modulo elastico trasversale E_t [Mpa]	2.000
Densità ρ [kg/mc]	570
resistenza a flessione longitudinale f_l [Mpa]	20
resistenza a flessione trasversale f_t [Mpa]	10

Tabella 4. Caratteristiche meccaniche pannello osb

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO Geostir® 5000 CS	
valore della resistenza a compressione al 10% di schiacciamento secondo EN 826 [Mpa]	0,7 per spessori > 60 mm
densità ρ [kg/mc]	30
modulo elastico a compressione E [Mpa]	40
temperatura limite di esercizio [°C]	(-50 / +75)

Tabella 5. Caratteristiche metalliche polistirene espanso estruso

PANNELLO A SCAGLIE ORIENTATE OSB4	
modulo elastico longitudinale E_l [Mpa]	5.300
modulo elastico trasversale E_t [Mpa]	2.500
Densità ρ [kg/mc]	620
resistenza a flessione longitudinale f_l [Mpa]	33
resistenza a flessione trasversale f_t [Mpa]	20

Tabella 6. Caratteristiche meccaniche pannello osb

1.5 MASSIMA RIDUZIONE DI PESO E VOLUME

I materiali con cui è realizzato il sistema fondazionale Geosmart offrono un'elevata capacità portante a fronte di un'area di sedime, di un volume d'ingombro e di un peso assai modesti, grazie sia alle caratteristiche chimico-fisiche sia alla densità relativa e consistenza, proprietà essenziali per poter svolgere le funzioni assegnate una volta messi in opera.

Opportunamente accoppiati e schermati da un involucro protettivo, questi materiali possono essere quindi trasportati, movimentati e impiegati in qualsiasi ambiente naturale, in modo facile, rapido e sicuro.

La loro leggerezza e resilienza li rende particolarmente adatti ad un impiego su terreni tendenzialmente molli come le argille, i limi e le torbe, dove la scarsa consistenza dei materiali impone spesso di applicare prima il principio di Archimede che la legge di Newton.

Come è noto il calcestruzzo ha un peso di volume pari a 2.500 kg/mc mentre il poliuretano composito Geostir ha un peso di volume che può variare da 40 a 60 kg/mc, a seconda della consistenza richiesta dalla progettazione.

Le parti metalliche in acciaio, pur di maggior peso specifico (7.850 kg/mc), sono presenti in quantità tale da non gravare eccessivamente sul manufatto.

Vien da sé che un plinto Geosmart realizzato con materiale sintetico risulta avere un peso

da circa 40 a 60 volte inferiore a quello di un plinto equivalente in calcestruzzo. In più, grazie alla sua leggerezza, comprimerà il terreno fondale molto meno del calcestruzzo, riducendo automaticamente anche il cedimento primario (Δw) dello stesso ordine di grandezza.

Ci si chiede allora: l'elevata resistenza alla compressione del calcestruzzo è sempre necessaria anche in presenza di terreni fondali molli, come argille, limi, sabbie, torbe ecc., dove la resistenza alla compressione spesso non supera i 2,0 Kg/cm²?

Ovviamente no! Soprattutto in questi casi diventa vantaggioso l'impiego di materiali leggeri e resistenti, dunque non di natura lapidea e di resistenza caratteristica (R_{ck}) 100 volte superiore al necessario. Come accade per ogni nuovo prodotto presentato sul mercato, anche se la platea dei tecnici accoglie le novità con un po' di *diffidenza*, presto poi capisce e conviene che la tecnologia cammina in fretta e certi materiali di antica tradizione vanno sostituiti con altri di nuova concezione.

1.6 MINOR COSTO E IMPATTO AMBIENTALE

Uscendo dal mondo del calcestruzzo armato ed entrando in quello dei materiali sintetici ultraleggeri si è dunque, inevitabilmente, messo in discussione non solo l'utilizzo esclusivo del calcestruzzo per le fondazioni, ma anche proposto un modo diverso di realizzare strutture fondazionali, a minor costo e impatto ambientale.

2 LA STRUTTURA

La figura di seguito illustrata indica gli elementi sostanziali che compongono il corpo di fondazione denominato Geosmart.

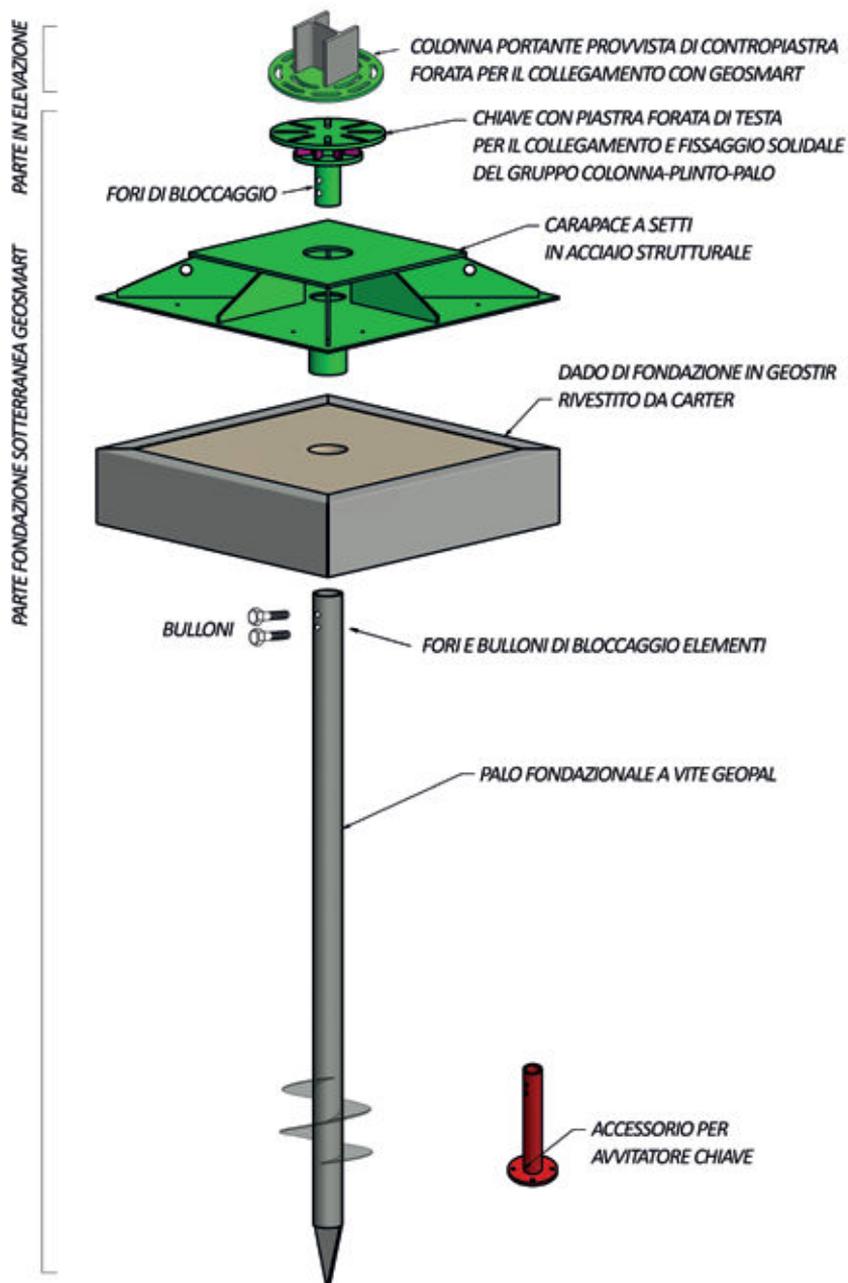


Figura 5. Geosmart - elementi strutturali

- I. **Chiave di giunzione plinto-palo-colonna:** elemento costituito da due piastre circolari attraversate da un tubo coassiale al quale sono fortemente saldate e sul quale sono presenti dei fori passanti per fissare con dei bulloni la testa del palo autoancorante infisso nel terreno, rendendo così solidali gli elementi.
- II. **Carapace:** elemento metallico costituito da due piastre quadre di diversa dimensione, distanziate e rinforzate da setti ortogonali saldati sulle due superfici allo scopo di renderle solidali e resistenti alla pressoflessione. Nella parte centrale dispone di un foro incamiciato da un tubo guida entro il quale inserire la parte di palo non infissa nel terreno. Ricopre superiormente i materiali compositi utilizzati per creare il dado di fondazione.
- III. **Dado di fondazione:** elemento così denominato per la sua forma prismatica quadra. È costituito da strati di materiale composito (Geostir) con livelli di gomma siliconica intercalata a pannelli di polietilene estruso ad alta densità, OSB_{str} etc. La particolare composizione e struttura consentono a questo elemento, una volta fissato al carapace e protetto da un carter metallico, di fungere da ammortizzatore per i carichi agenti e da dissipatore delle vibrazioni trasmesse dall'ambiente esterno. La chiave lo rende solidale al palo.
- IV. **Palo autoancorante:** il palo metallico a vite Geopal® è l'elemento che vincola al suolo la fondazione, impedendone la traslazione spaziale lungo i tre assi (x, y, z), e consente di scaricare in profondità le tensioni trasmesse e non dissipate completamente dal plinto (dado), come lo sforzo di taglio e di momento flettente. Ha inoltre la funzione di incrementare la capacità portante, riducendo contemporaneamente i cedimenti geotecnici dovuti al terreno sul quale va ad interagire come corpo fondazionale.

3 I MODELLI

3.1 MODELLI, CARATTERISTICHE E COLLAUDO STATICO

I modelli prodotti sperimentalmente in laboratorio di prototipazione meccanica sono attualmente quattro (4).

La differenza sta sia nelle dimensioni che nelle caratteristiche strutturali e grado di consistenza dei materiali utilizzati, che sono stati studiati e verificati per essere impiegati in cantieri con situazioni litologiche e geostatiche differenti. In termini concreti ciò significa che laddove il terreno fondale di interazione con il plinto fosse costituito prevalentemente da ghiaia e sabbia, quindi mostrasse una buona consistenza e capacità portante, sarà possibile pensare ad una portata del plinto maggiore di quella che, diversamente, potremo riscontrare per uno stesso plinto installato su terreni molli, come quelli limosi, argillosi e torbosi dove l'impiego di fondazioni sovradimensionate è espressione spesso di insicurezza da parte del progettista e prova di ingiustificato spreco economico da parte del D.L.

Ciascuno dei quattro modelli è stato sottoposto a collaudo statico mediante prova di compressione allo schiacciamento assiale, eseguita a cura del *Laboratorio certificato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ai sensi del D.P.R. 380/2001* Geodata di Padova.

Di seguito sono riportati i dati dimensionali e caratteristici dei vari modelli, le cui tabelle illustrative consentono un rapido e corretto utilizzo di questo prodotto in termini sia di portata strutturale sia di resistenza alla compressione e deformazione per schiacciamento.

3.1.1 Geosmart mod. GSM-1 (Arancio)

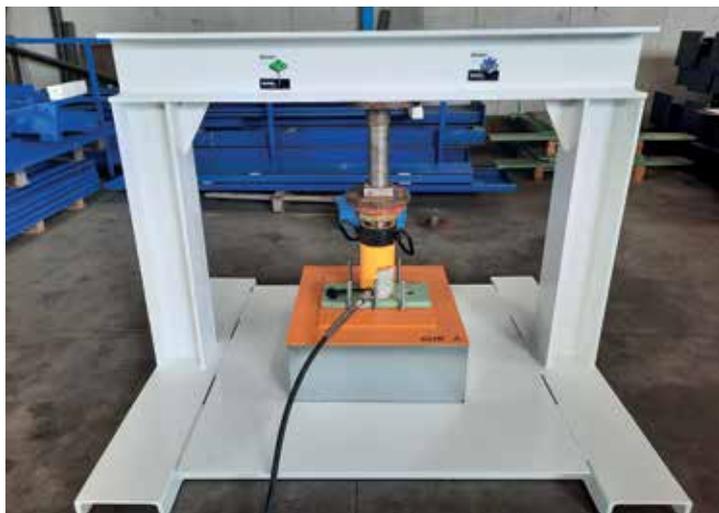


Figura 6. Geosmart mod. GSM-1 (Arancio)

Dimensioni cm 60 x 60 x 24

Peso kg 48 circa

Area di base cmq 3.600

Palo di ancoraggio PVD: diam. φ_e mm 26/30 x (L) 600/750/1.000

Geostir XPS-300

Trattamento preservante: primer antiruggine /zincatura a caldo

Carico compressione (Q) kg/dN	Area di base cmq	Cedimenti Δw mm	Pressione unitaria σ_e kg/cmq
1.100	3.600	1,26	0,30
2.200	3.600	2,69	0,61
3.200	3.600	3,58	0,88
4.300	3.600	4,31	1,20
5.400	3.600	4,74	1,50
6.500	3.600	5,97	1,80
7.600	3.600	7,30	2,11
8.600	3.600	9,57	2,38
9.700	3.600	10,64	2,70
10.800	3.600	13,00	3,00
Limite (Q) di esercizio	Limite di sicurezza	Limite di rottura	

3.1.2 Geosmart mod. GSM-2 (Blu)



Figura 7. Geosmart
mod. GSM-2 (Blu)

Dimensioni: cm 60 x 60 x 45 - Peso kg 63 circa - Area di base cmq 3.600

Palo di ancoraggio mod PVD: diam. ϕ_e mm 48/60 x (L) 1.500/2.000 - Geostir 5000 CS

Trattamento preservante: primer antiruggine/ zincatura a caldo

Carico compressione (Q) kg/dN	Area di base cmq	Cedimenti Δw mm	Pressione unitaria σ_e kg/cmq
1.100	3.600	0,90	0,30
2.200	3.600	1,67	0,61
3.200	3.600	2,34	0,88
4.300	3.600	3,03	1,19
5.400	3.600	3,92	1,50
6.500	3.600	5,38	1,80
7.600	3.600	6,25	2,11
8.600	3.600	7,18	2,38
9.700	3.600	7,84	2,69
10.800	3.600	9,36	3,00
11.900	3.600	9,98	3,30
13.000	3.600	10,73	3,61
14.000	3.600	11,16	3,88
15.100	3.600	11,66	4,19
16.200	3.600	12,15	4,50
17.300	3.600	12,73	4,80
18.400	3.600	13,74	5,11
Limite (Q) di esercizio	Limite di sicurezza	Limite di rottura	

3.1.3 Geosmart mod. GSM-3 (Verde)

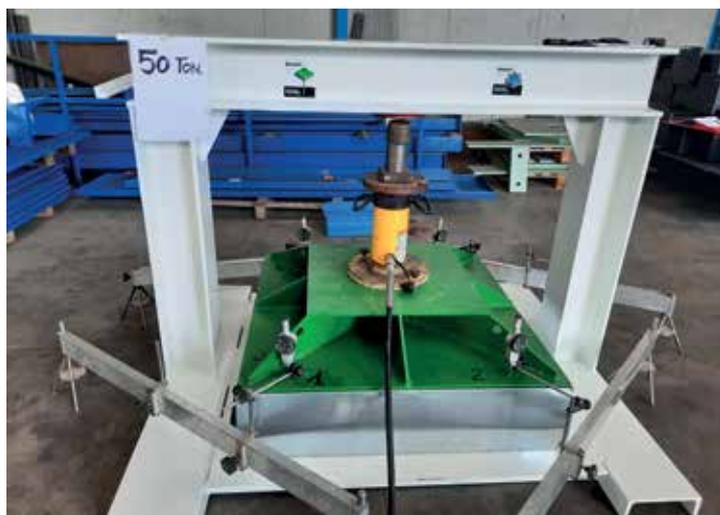


Figura 8. Geosmart mod. GSM-3 (Verde)

Dimensioni: cm 100 x 100 x 48

Peso kg 185 circa

Area di base cmq 10.000

Palo di ancoraggio: PVD diam. φ_e mm 90/114 x (L) 1.500/2.000/3.000

Geostir 5000 CS

Trattamento preservante: primer antiruggine – zincatura a caldo

Carico compressione (Q) kg/dN	Area di base cmq	Cedimenti Δw mm	Pressione unitaria σ_e kg/cmq
4.300	10.000	1,85	0,43
8.600	10.000	2,72	0,86
13.000	10.000	3,49	1,30
17.300	10.000	4,10	1,73
21.600	10.000	4,71	2,16
25.900	10.000	5,35	2,59
30.200	10.000	5,75	3,02
34.600	10.000	6,14	3,46
38.900	10.000	6,56	3,89
43.200	10.000	6,78	4,32
49.500	10.000	8,05	4,95
50.000	10.000	8,10	5,00
Limite (Q) di esercizio	Limite di sicurezza	Limite di rottura	

3.1.4 Geosmart mod. GSM-4 (Giallo)



Figura 9. Geosmart mod. GSM-4 (Giallo)

Dimensioni: cm 120 x 120 x 38

Peso kg 185 circa

Area di base cmq 14.400

Palo di ancoraggio: PVD diam. φ_e mm 90/114 x (L) mm 1.500/2.000/3.000

Geostir XPS 300, acciaio e compositi

Trattamento preservante: primer antiruggine – zincatura a caldo

Carico compressione (Q) kg/dN	Area di base cmq	Cedimenti Δw mm	Pressione unitaria σ_e kg/cmq
3.200	14.400	4,20	0,22
6.500	14.400	5,65	0,45
9.700	14.400	6,74	0,67
13.000	14.400	10,67	0,90
16.200	14.400	11,65	1,12
19.400	14.400	12,21	1,35
22.700	14.400	13,3	1,57
25.900	14.400	13,73	1,80
29.200	14.400	15,00	2,02
Limite (Q) di esercizio	Limite di sicurezza	Limite di rottura	

3.2 PARTICOLARI COSTRUTTIVI Geosmart mod. GSM-2 (Blu) e GSM-3 (Verde)

Di seguito sono riportati i particolari strutturali e costruttivi di due dei quattro modelli del corpo di fondazione Geosmart.

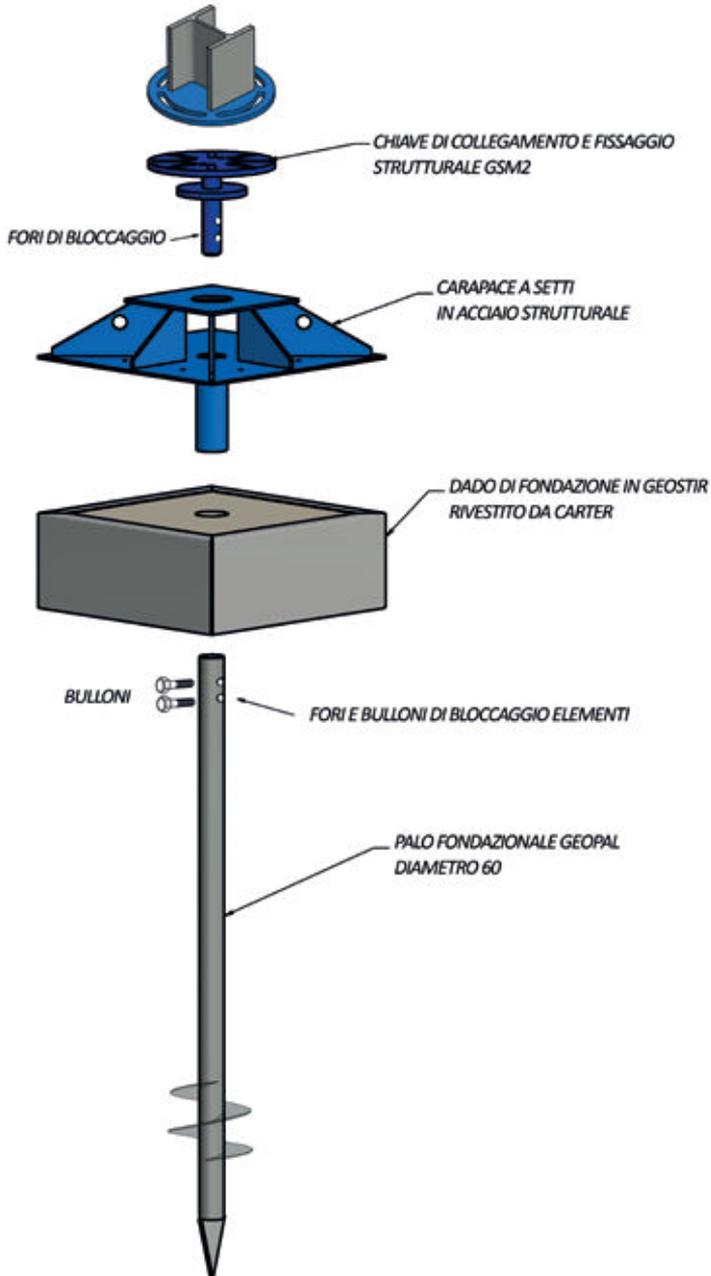


Figura 10. Geosmart mod. GSM-2 - elementi strutturali

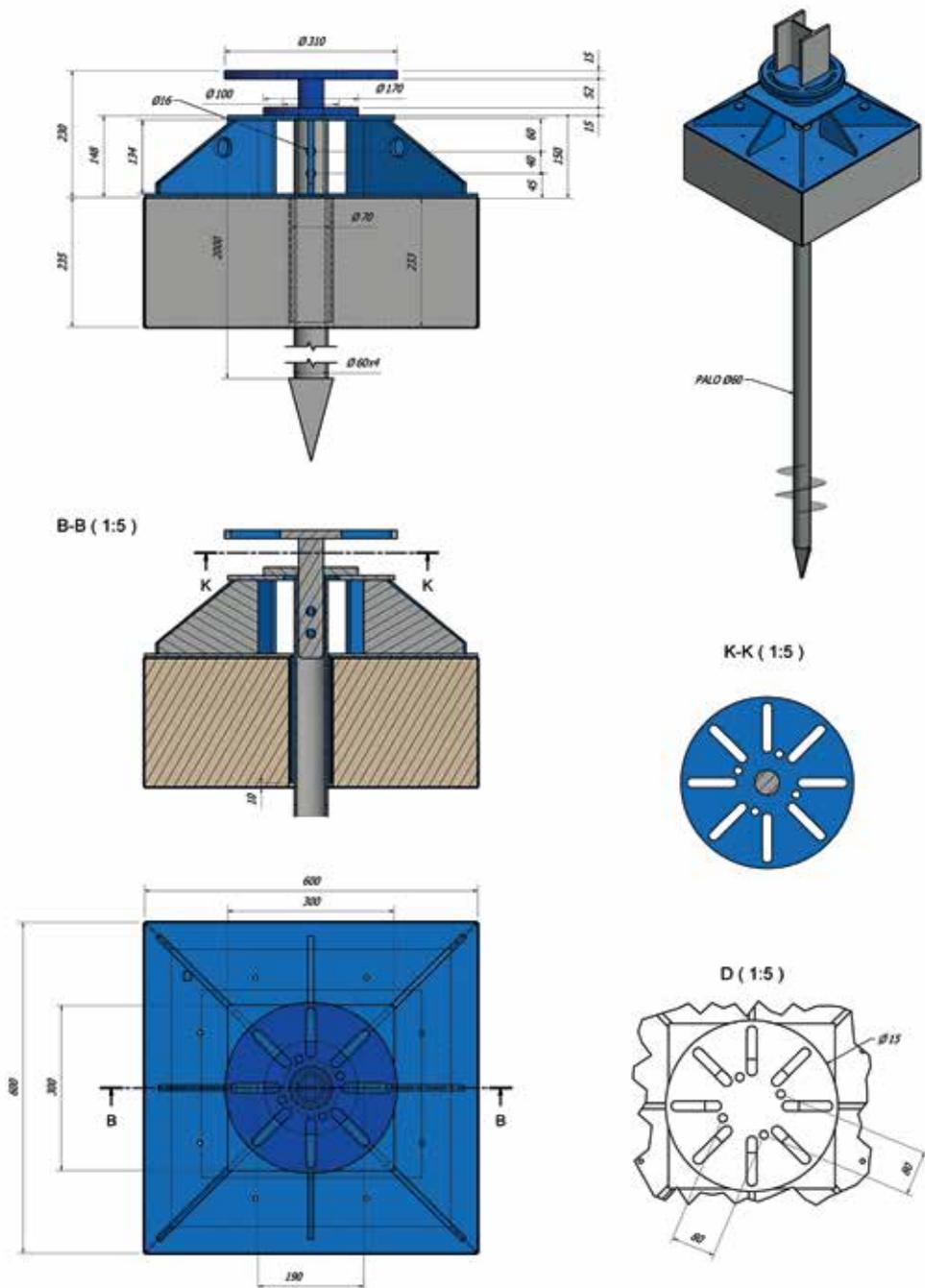


Figura 11. Geosmart mod. GSM-2 - particolari costruttivi

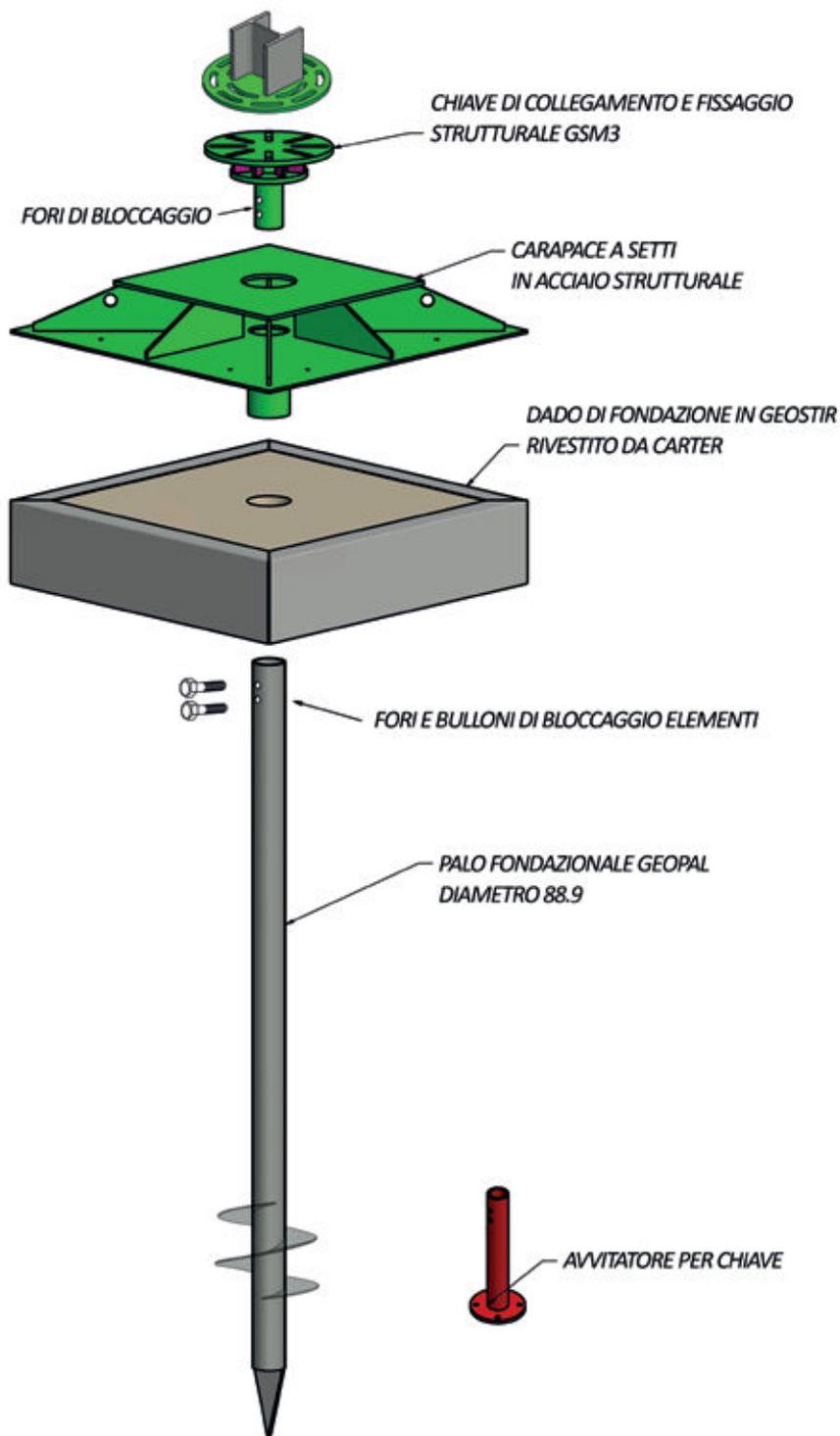


Figura 12. Geosmart mod. GSM-3 - elementi strutturali

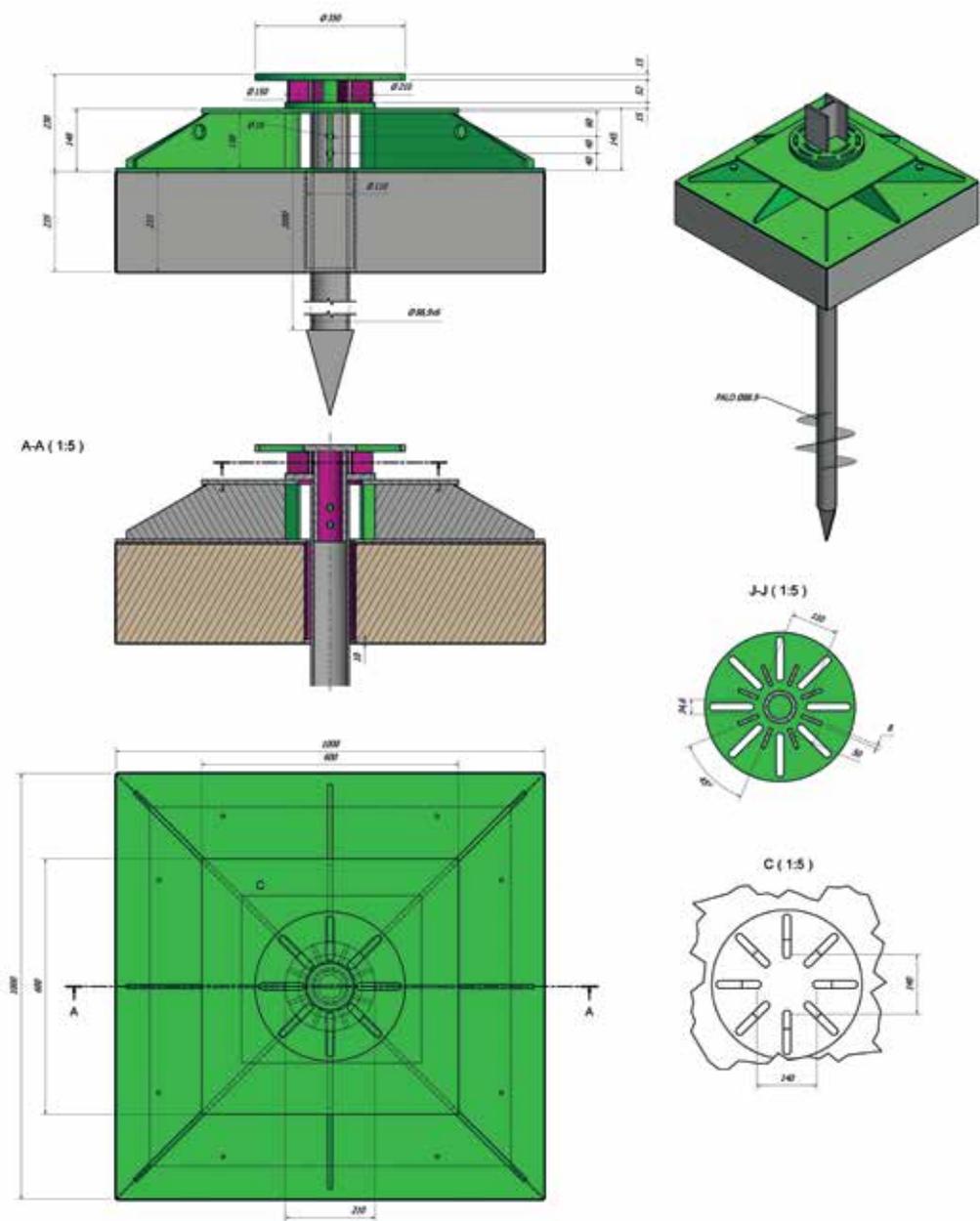


Figura 13. Geosmart mod. GSM-3 - particolari costruttivi

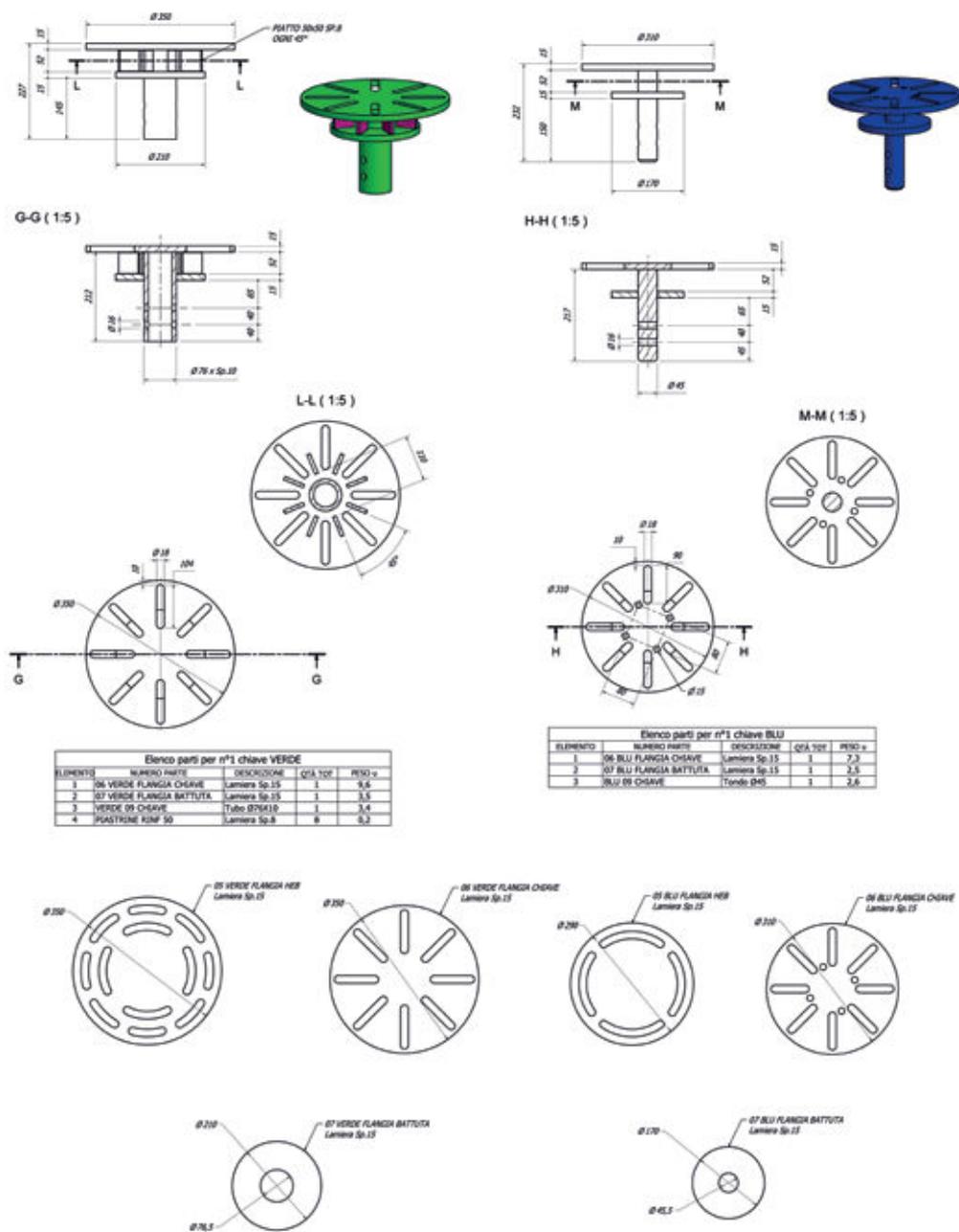


Figura 14. Geosmart mod. GSM-3 e GSM-4 - chiavi di testa e parti accessorie

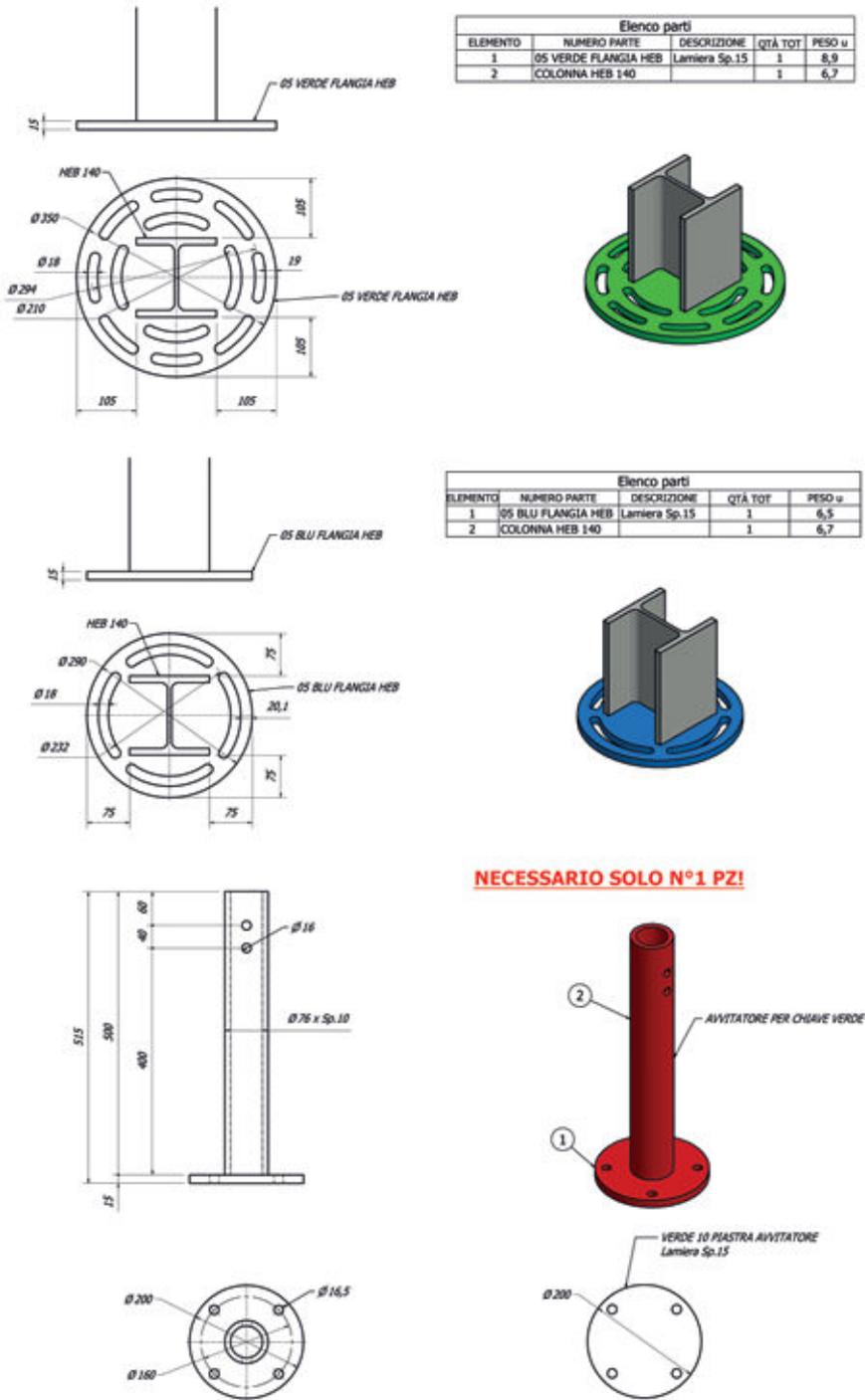


Figura 15. Geosmart mod. GSM-3 e GSM-4 - strumentazione e strutture in elevazione collegate

4 L'INGEGNERIA DEL PRODOTTO

4.1 LA SINERGIA GEOPLINTO - PALO AUTOANCORANTE

Nel plinto sintetico ultraleggero Geosmart il palo metallico a vite Geopal® svolge una duplice funzione: vincolare baricentricamente il dado da fondazione, impedendone la traslazione spaziale lungo i tre assi (x , y , z), e incrementarne la capacità portante, grazie al contrasto offerto dalle viti elicoidali spinte in profondità. Il palo autoancorante, di dimensioni ridotte a qualche metro ma con un fusto tubolare piuttosto robusto (tale da garantire il completo assorbimento degli sforzi di taglio e momento flettente indotti da una colonna in elevazione), contribuisce dunque in modo efficace e assai significativo a stabilizzare sul punto d'infissione l'opera soprastante.

L'unione solidale e l'azione congiunta dei due elementi (la fondazione superficiale a plinto e quella profonda del palo) efficacemente interagenti con il terreno, distinti nelle proprie funzioni ma operanti contemporaneamente come dissipatori delle tensioni (Q , T , M), consente di scaricare efficacemente nel sottosuolo tutti i carichi trasmessi, assumendo così il plinto pienamente la funzione di fondazione ibrida ovvero di fondazione mista.

Fondazione che possiamo definire anche antisismica, essendo strutturata in modo da dissipare con efficacia le tensioni derivanti da più parti, anche se ortogonali tra loro.

L'elemento verticale (palo a vite autoancorante) è infatti determinante per contrastare l'azione di forze orizzontali e qualsiasi altra forza impattante sulla struttura, come l'azione di spinta idraulica dovuta all'erosione di un corso d'acqua che, come è noto, tende a scalzare e rimuovere anche i materiali posti sotto le fondamenta, rendendo cedevole la base d'appoggio dell'opera soprastante.

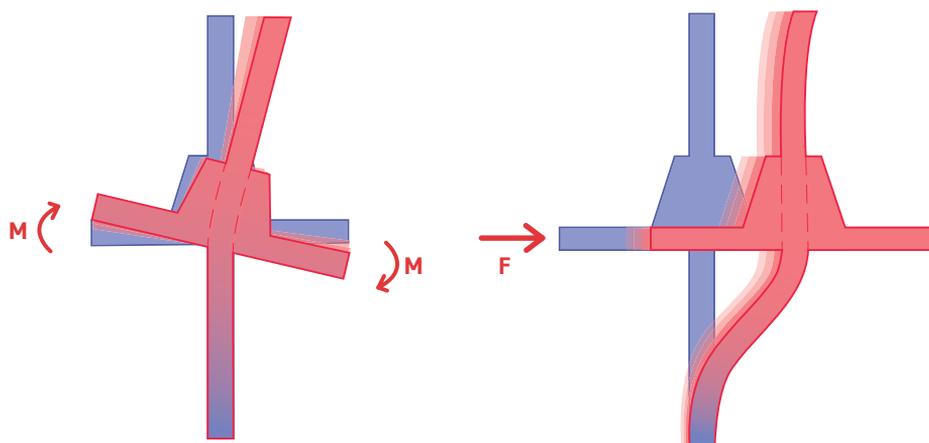


Figura 16. Effetto anti-ribaltamento ed effetto anti-scorrimento

4.2 IL CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE

Benché nel sistema fondazionale Geosmart l'interazione delle forze in gioco sia complessa da determinare (un'analisi agli elementi finiti lo dimostrerebbe) e il calcolo della capacità portante di questa particolare fondazione possa essere eseguito in vari modi, illustriamo di seguito un metodo speditivo, facile da ricordare e senza troppa approssimazione nei risultati, che consigliamo ai meno esperti di adottare, in quanto non è nostra intenzione complicare ulteriormente questo argomento che, come è noto, risulta essere oggetto di valutazione e pareri accademici spesso discordi.

Il metodo prevede l'impiego di dati di input prodotti ed elaborati correttamente, tali da consentire un dimensionamento in linea con le esigenze di progetto, tra cui:

- le proprietà geotecniche dei terreni fondali sui quali ricade l'opera;
- la presenza o meno della falda acquifera sotto il piano di fondazione;
- il grado di sismicità del territorio,
- l'entità dei carichi da dissipare e loro ubicazione plani altimetrica;
- il valore massimo del cedimento compatibile con la struttura da sostenere;
- la vita nominale dell'opera, se di breve o lunga durata;
- le caratteristiche qualitative dei materiali da costruzione utilizzati,
- il grado di sicurezza da assegnare all'opera.

Disporre di tutte queste informazioni spesso non è facile né rapido, pertanto molti tecnici ricorrono a tabelle, diagrammi e programmi di calcolo che richiedono una buona conoscenza dell'argomento.

Essendo Geosmart una fondazione mista costituita da due corpi fondazionali distinti:

- una fondazione superficiale predimensionata a sviluppo orizzontale (plinto)
- una fondazione profonda predimensionata a sviluppo verticale (palo)

collegati fra loro in modo solidale e tale da assorbire e dissipare le tensioni indotte da un sovrastante corpo agente collegato solidalmente, l'azione congiunta che i due elementi svolgono in forma sinergica è data più semplicemente dalla somma delle aliquote delle azioni di progetto che verrebbero esercitate sui singoli elementi (plinto e palo) se considerati separatamente (NTC 2018 p. 6.4.3.).

La capacità portante della fondazione mista (plinto + palo) con risultante di carico centrata è pertanto considerata come la somma delle capacità portanti attribuibili singolarmente al plinto e al palo a vite, diviso il coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_R = 2,3$ (NTC 2018 cap. 6.4.2.1. e tab. 6.4.1.).

$Q_{tot} = (Q_{plinto} + Q_{palo})$ dove la capacità portante del plinto vale $Q_{pl} = Area \times \sigma_t$ e $Q_{palo} = Q_{base} + Q_{lat}$.

Non va dimenticato quanto previsto dalle NTC 2018 per determinare la portata di questa ti-

pologia di fondazioni miste, in termini di coefficientazione, laddove la resistenza di progetto $Rd_{(mista)}$ viene determinata dividendo per il coefficiente parziale di sicurezza γ_R la somma delle resistenze caratteristiche del palo e del plinto di collegamento, considerati singolarmente, così che:

$$Rd_{(mista)} = (Rk_{(plinto)} + Rk_{(palo)})/\gamma_R.$$

Il collegamento strutturale tra i due elementi fondazionali che concorrono nel sostegno del sovrastante corpo agente e la relativa interazione riducono quindi in modo significativo i cedimenti che gli stessi, singolarmente, andrebbero a subire a parità di carico.

In ogni caso si consiglia a chi meno conosce la geotecnica fondazionale ed i problemi ad essa connessi, come quelli riguardanti appunto il dimensionamento di fondazioni miste, di documentarsi adeguatamente sui testi pubblicati sull'argomento, così da poter soddisfare in modo ottimale sia le esigenze di progetto sia quelle economiche relative al costo del prodotto scelto. Per chi volesse approfondire il calcolo delle fondazioni miste consigliamo quanto pubblicato dal Prof. A. Mandolini nel 2016 per il seminario agli ingegneri della provincia di Ferrara.

Per quanto riguarda invece la portata strutturale del geoplinto (da non superare), le tabelle sui carichi applicati e sulle deformazioni ottenute per compressione sui modelli sottoposti a schiacciamento (pag. 20-23) consentono di conoscere e valutare con precisione e sicurezza quali sono i limiti di portata dei modelli prodotti e collaudati ufficialmente da Laboratorio certificato.

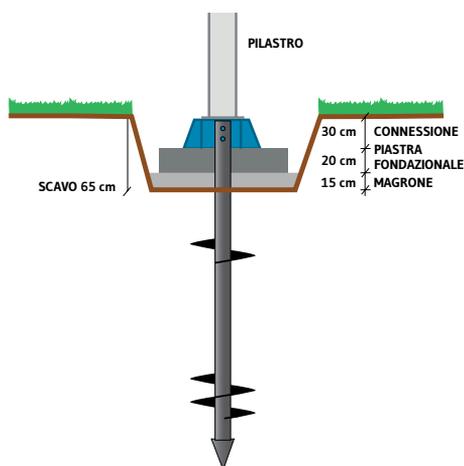


Figura 17. Schema tipo della fondazione mista plinto-palo Geosmart.

Notare il collegamento solidale pilastro-plinto-palo garantito dalla chiave di connessione.

4.3 LA VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI A COMPRESSIONE

Una volta acquisiti i dati sui limiti di utilizzo del geoplinto attraverso le tabelle comparative di sintesi dei parametri strutturali, al progettista non rimane altro che svolgere gli accertamenti geognostici del caso e, quindi, verificare con un'adeguata formulistica quale sia il valore

limite della capacità portante del terreno fondale sul quale installare la nuova fondazione. Operazione questa che, come è noto, deve essere fatta sempre e comunque per ogni tipo di fondazione.

La progettazione, sotto questo aspetto, viene semplificata dal fatto che i dati strutturali del sistema fondazionale Geosmart sono tabellati e quindi garantiti dal costruttore, mentre non lo sono quelli di natura litologica, geotecnica ed idrogeologica che, ovviamente, vanno verificati puntualmente di volta in volta per ogni sito.

È evidente quindi che la scelta del geoplinto più idoneo per ogni singolo caso in esame sarà condizionata per lo più dalla natura e consistenza dei terreni fondali, dai carichi agenti e, soprattutto, dal cedimento complessivo (Δw_{tot}) che si vuole ottenere in sede di collaudo.

Relativamente alla stima del cedimento complessivo palo-plinto, ovvero dell'intera fondazione Geosmart sotto carico, va peraltro considerato non solo il cedimento geotecnico dovuto allo schiacciamento del terreno presente sotto la fondazione, ma anche quello, seppur minimale, prodotto sul materiale sintetico del solo geoplinto da un determinato valore di pressione unitaria, per effetto dello schiacciamento dovuto al carico incombente, come già riportato nelle sopraccitate tabelle di collaudo statico.

5 LA POSA IN OPERA

Ci si chiede allora: ma per eseguire questa tipologia di fondazione in opera, quali e quante sono le operazioni da fare? Oltre al tracciamento del perimetro di scavo, al picchettamento dei punti nodali e al controllo strumentale delle quote l'intervento preparatorio ed esecutivo delle fondazioni in cosa consiste?

Come ogni altro tipo di fondazione anche Geosmart, che ricordiamo essere una fondazione prefabbricata classificata anche come fondazione mista per l'accoppiamento strutturale palo/plinto, viene solitamente messa in opera dentro ad uno scavo, anche poco profondo, sul quale viene steso uno strato di pietrisco o di sabbia grossa, in modo da rendere ottimale il piano d'appoggio del geoplinto.

Il posatore, ovvero colui che si occuperà della posa in opera della fondazione, dovrà disporre solamente degli attrezzi e dei mezzi necessari per eseguire a regola d'arte la posa in opera degli elementi strutturali: palo autoancorante e geoplinto.

L'attività da svolgere consiste nelle seguenti fasi:

- predisporre la sede di installazione, controllando misure e quote di riferimento;
- infiggere il palo a vite autoancorante Geopal® con apposita attrezzatura, lasciandone una parte fuori terra per consentirne il collegamento con il dado del geoplinto;
- stendere sul fondo scavo uno strato di 8/10 cm di pietrischetto da 7/10 mm o di sabbia grossa compattati e livellati in quota in modo da formare un piano orizzontale omogeneo e consistente per la posa in opera del geoplinto; in alternativa e se la situazione lo dovesse richiedere stendere uno strato di magrone opportunamente liscio e compattato per dare una superficie regolare alla base fondazionale;
- assicurarsi che tutte le basi di appoggio realizzate dentro agli scavi siano perfettamente in quota e allineate per procedere con la posa dei vari elementi;
- prendere dall'area di deposito il geoplinto di competenza, avvalendosi possibilmente di un mezzo d'opera da cantiere per un facile sollevamento e posizionamento dentro allo scavo a trincea;
- installare il geoplinto trapassandolo centralmente, attraverso il foro camicia, con la parte di palo rimasta fuori terra;
- giuntare, con i bulloni in dotazione, la chiave di fissaggio che consente l'unione del palo autoancorante al geoplinto, rendendo questi due elementi vincolati e solidali tra loro;
- controllare le quote e le assialità dei singoli elementi, quindi chiudere con l'apposita strumentazione i bulloni di fissaggio che collegano la testa del palo al geoplinto, esercitando una discreta pressione di serraggio;
- rimuovere, dopo aver controllato nuovamente le quote e gli allineamenti assiali lungo le

tre direzioni (x, y, z) le attrezzature utilizzate e, se tutto risulta correttamente eseguito, passare alla successiva installazione.

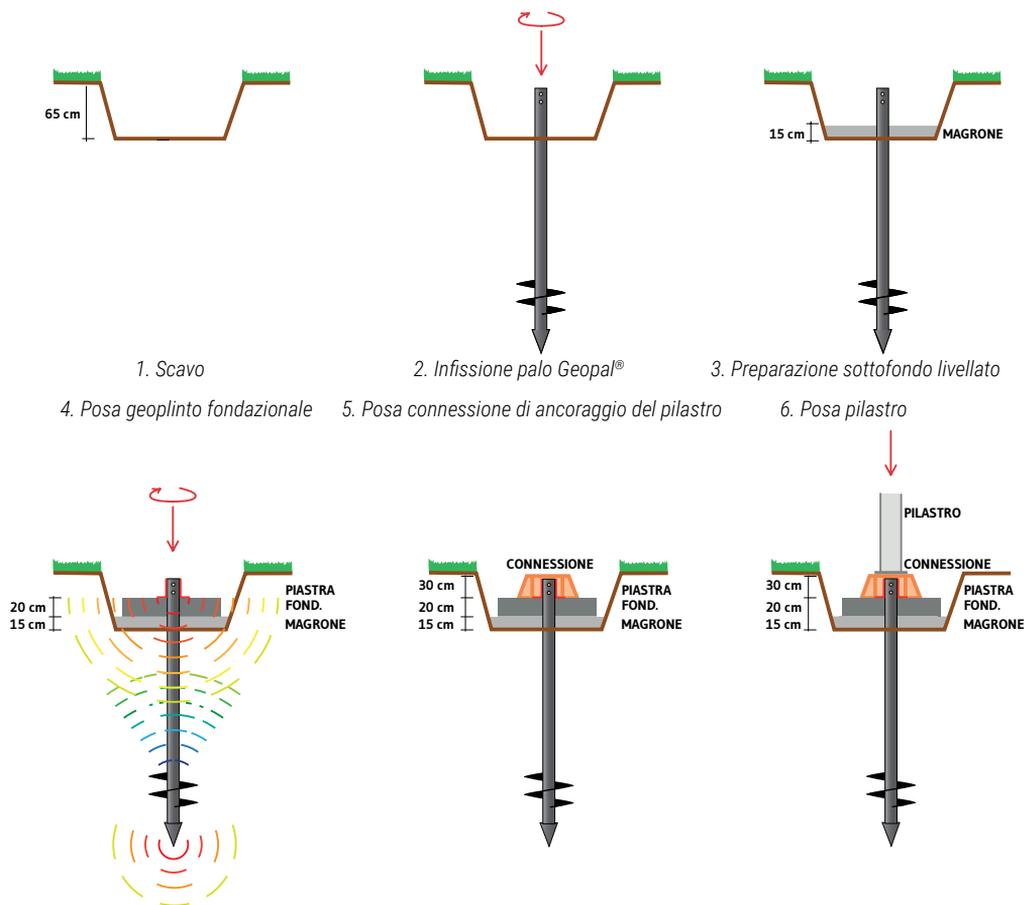
Vogliamo ricordare che, qualora non ve ne sia la necessità, i dadi fondazionali Geosmart possono essere utilizzati anche senza l'impiego del palo autoancorante a vite.

È il caso di costruzioni proiettate su terreni o materiali particolarmente duri da penetrare come ghiaie, arenarie, rocce, massetti, sottofondi, ecc.), dove il dado di fondazione servirà solamente a dissipare in profondità il carico assiale scaricato dal sovrastante pilastro, ma non necessita di essere vincolato al sottosuolo con un palo di ancoraggio essendo sufficiente che sia semplicemente appoggiato.

Resta comunque al progettista e/o al direttore dei lavori decidere la soluzione migliore.

Per chiarezza riportiamo di seguito immagini illustrative della sequenza di operazioni da eseguire per la posa degli elementi.

Figura 18. Fasi della posa in opera di Geosmart



6 UN CANTIERE TIPO

A completamento di quanto fin qui illustrato, riportiamo di seguito alcuni aspetti importanti che hanno caratterizzato la fornitura di fondazioni Geosmart in un cantiere sul litorale di Rimini.

Sulla spiaggia del litorale romagnolo, in comune di Rimini, non è consentito utilizzare calcestruzzo o materiali ugualmente impattanti per costruire opere sotterranee riguardanti strutture balneari come bar, ristoranti, spogliatoi, servizi spiaggia e opere funzionali da ubicare dentro alla fascia di rispetto marittimo.

Dopo un'accurata verifica sull'idoneità tecnica delle fondazioni Geosmart all'uso previsto, i tecnici della committente hanno verificato anche che il prodotto e la soluzione individuata fossero in linea con le disposizioni impartite dagli Enti territoriali preposti al rilascio delle autorizzazioni (come Comune, Genio Civile, Beni Ambientali ecc.).

Ottenuto il parere favorevole da quest'ultimi, la proprietà committente ha confermato la fornitura di 38 geoplinti di due diverse dimensioni, da consegnare ed installare in tempi *record* dovendo aprire la stagione balneare a pochi mesi di distanza.

L'esigenza di trovare una soluzione alternativa al cemento armato, utilizzando materiali e tecnologie a basso impatto ambientale con requisiti tecnici e di funzionalità tali da soddisfare pienamente sia le esigenze di progetto sia le condizioni richieste dagli Enti autorizzativi, è stato così brillantemente risolto nei tempi particolarmente rapidi chiesti dalla committente.

Le foto che seguono documentano in modo chiaro ed inequivocabile le fasi del cantieramento di queste nuove fondazioni e la tecnologia utilizzata dalle maestranze per installare in soli due gg ben 38 plinti fondazionali ancorati saldamente al sottosuolo.

Dovendo sostenere, scaricare e dissipare carichi assiali (N) di diversa entità, variabili da un minimo di 2.500 kg ad un massimo di 11.000 kg oltre a quelli dovuti ai momenti flettenti agenti sui nodi (M_x , M_y) con valori fino ad un massimo di 1.600 kgm, sono stati utilizzati come soluzione ottimale i geoplinti mod. GSM-2 e GSM-3 aventi rispettivamente una portata strutturale in sicurezza di 11.900 kg e 30.200 kg, come già riportato nelle tabelle dei carichi-cedimenti.

Trattandosi di due edifici staccati di diversa dimensione, seppur ricadenti nello stesso lotto di terra, i differenti carichi agenti sui nodi di ogni struttura hanno indotto il progettista a considerare due diversi modelli di fondazione Geosmart: uno da utilizzare nei nodi con carichi fino a 6.000 kg per un totale di 29 elementi GSM-2 e l'altro per i nodi con carichi da 6.000 a 11.000 kg per totali 9 elementi GSM-3, così da raggiungere il numero di 38 geoplinti necessari a soddisfare le esigenze di progetto.

Per eseguire meglio e più velocemente le lavorazioni di posa in opera dei vari manufatti

è stato eseguito lo sbancamento completo delle due aree di sedime, ribassando il piano campagna di circa 80 cm, per poi eseguire i tracciamenti e relativi picchettamenti dei punti d'installazione.

Una volta eseguiti i picchettamenti, sono stati infissi con estrema precisione i pali a vite autoancorante Geopal ed è stato eseguito a secco, in corrispondenza ad ognuno di essi, il massetto di pietrisco sopra al quale è stato installato il plinto di riferimento.

L'attività è stata svolta da personale specializzato dotato di apposita strumentazione, attrezzature e mezzi.

La precisione con cui solitamente si opera in questi casi è di +/- 5 mm sugli assi x, y, z.

Nel caso di specie la quota d'imposta dei geoplinti era stata fissata a -70 cm dal p.c. e sotto ogni plinto è stato riportato, livellato e compattato uno strato di circa 10 cm di pietrisco (6/10) atto ad uniformare e stabilizzare ulteriormente il piano d'appoggio dell'elemento prismatico.

Ultimata la posa in opera di tutte le fondazioni, le maestranze hanno eseguito dei test rapidi di verifica alla compressione e stabilità di alcuni elementi installati, allo scopo di accertare il grado di inamovibilità dell'insieme opera-terreno.

L'esito positivo dei test ha consentito alla D.L. di rilasciare una dichiarazione di conformità della posa in opera, eseguita a regola d'arte.

L'esecuzione di due prove di carico prodotte da una terza ditta incaricata dalla committente ha infine verificato e documentato gli ottimi risultati ottenuti a completamento dell'attività svolta.

Ultimata la posa delle fondazioni, una seconda squadra di addetti è intervenuta per eseguire la posa in opera delle strutture aeree (pilastri e travi di collegamento) realizzate in acciaio zincato ed atte a completare i due corpi di fabbrica.

La precisione e capacità operativa messa in atto anche in questo caso dalle maestranze ha consentito di procedere senza indugio nella consegna dei lavori strutturali, compreso quello riguardante l'impalcato del piano terra, rialzato rispetto al piano campagna di circa 30 cm, tanto da risultare isolato termicamente e idraulicamente dalla sottostante sabbia dell'arenile.

Come mostrano le foto scattate in cantiere, le maestranze addette alla posa in opera degli elementi strutturali in acciaio (colonne, travi, lamiera, angolari ecc.) sono riuscite a svolgere rapidamente e con precisione ogni installazione grazie soprattutto all'esperienza e al livello di attenzione mantenuto durante le varie fasi di lavorazione della filiera e ai controlli incrociati sui pezzi prima del cantiere.

La loro grande professionalità ha premiato, ancora una volta, la scelta della prefabbricazione.













7 CALCOLO DEL COSTO ECONOMICO

7.1 IL PROCEDIMENTO ESTIMATIVO

Per qualsiasi costruzione da realizzare è necessario conoscere il costo degli elementi che la compongono. Anche per le fondazioni Geosmart si è pensato di fornire quotazioni economiche di riferimento o, quantomeno, un metodo per poterne calcolare il più probabile costo economico.

Trattandosi di strutture realizzate per lo più su misura e con materiali compositi alternativi al cemento, il costo di produzione viene determinato inevitabilmente attraverso la sommatoria dei costi di produzione sostenuti. La ragione che rende piuttosto laborioso e non facile questo calcolo è la necessità di determinare aprioristicamente le dimensioni strutturali degli elementi necessari e sufficienti a soddisfare le esigenze di progetto.

Per semplificare la farraginoso attività contabile da affrontare di volta in volta, Geopalitalia propone un metodo semplice di rapido utilizzo, attraverso il quale è possibile quantificare in via preliminare quanto verrebbe a costare un plinto Geosmart con capacità portante propria non inferiore al valore indicato nelle tabelle di collaudo in corrispondenza del carico di sicurezza del modello di riferimento. In queste tabelle sono infatti indicati i carichi allo schiacciamento applicati ai vari modelli di plinto sottoposti alle verifiche di laboratorio, dove il tonnellaggio indicato come limite di sicurezza è quello da assumere come parametro di riferimento per calcolare il costo approssimativo del modello considerato.

Diversa è invece la capacità portante geotecnica (Q_{Geo}) che il geoplinto verrà ad avere in funzione del tipo di terreno su cui andrà a poggiarsi per dissipare il carico indotto. Essa varierà di volta in volta a seconda della situazione geotecnica locale e dipenderà, quasi esclusivamente, dalla natura e consistenza dei terreni fondali di riferimento.

Ciò premesso e nello spirito di fornire sempre delle soluzioni semplici, speditive e utili a chi opera in questo particolare settore, si indica come metodo rapido ed approssimativo da seguire, quello definito dalla seguente formula: $C = K + (A \times B)$ dove con la lettera A viene indicato il costo medio di € 20,00 per tonnellata di portata assiale prevista nella fascia di carico limite di sicurezza per un dato modello di plinto, con B il tonnellaggio massimo indicato entro il limite di sicurezza, sempre per quel modello di plinto, con K l'importo fisso di € 300,00 a copertura degli oneri di gestione e con C il costo complessivo.

Questo metodo speditivo di stima economica consentirà a tecnici ed imprenditori di valutare preliminarmente l'ordine di grandezza dell'importo da considerare per la fornitura di Geosmart. Costi di fornitura ai quali andranno poi sommati quelli di posa in opera e di cantieramento di mezzi e materiali.

Come è facile comprendere le variabili in gioco sono diverse e pertanto, in fase realizzativa, si consiglia di contattare il fornitore di riferimento o la casa madre per un opportuno confronto e aggiornamento sui costi dei prodotti da utilizzare, loro disponibilità a magazzino e tempi di consegna.

Detto ciò, riportiamo di seguito un esempio pratico semplificato di come si può determinare preliminarmente il costo di queste fondazioni originali ad alta tecnologia, ricordando che i parametri economici fissi sono, ovviamente, legati al prezzo medio della materia prima e quindi soggetti a variazioni dovute non solo all'inflazione economica ma anche ad altri fattori o cause di forza maggiore come la pandemia.

7.2 UN ESEMPIO PRATICO

L'impresa edile Slim-Costruction S.r.l. è stata incaricata dal sig. Rossi Mario di Milano di fornire un fabbricato totalmente passivo, realizzato in legno, acciaio e materiali compositi antisismici opportunamente trattati per civile abitazione.

Il progettista ing. Giuseppe Verdi ha prodotto una relazione di calcolo sulle sollecitazioni agenti nei nodi della struttura, determinando con il proprio software gli sforzi massimi che si verificherebbero nella condizione più gravosa.

I punti di scarico determinati sono complessivamente 26 e i loro valori agli SLU variano per i carichi verticali (R_z) da un minimo di 3.807 kg ad un massimo di 14.280 kg. Per quanto riguarda invece le forze orizzontali (R_x e R_y) sempre agli SLU i valori determinati dall'ingegnere variano da un minimo di 295 kg ad un massimo di 1.758 kg. Infine per quanto riguarda i momenti agenti al piede delle colonne portanti (M_x - M_y - M_z) le sollecitazioni più gravose risultano essere piuttosto basse e non superano i 368 kgm.

Relativamente alla situazione geologica e geotecnica locale, il geologo dott. Bianchi Luigi ha rilevato che nei primi cinque metri (5 m) di profondità dell'area da edificare sono presenti terreni argillolimosi coesivi, mediamente consolidati, poco consistenti, aventi coesione $C_u = 0,7$ kg/cmq e peso specifico $\gamma_t = 1,8$ ton/mc, ai quali associa una capacità portante di sicurezza δ_{geo} di 1,50 kg/cmq. La falda acquifera viene indicata a - 8,20 metri di profondità dal piano campagna.

Ciò premesso: la ditta alla quale sono stati affidati i lavori, dovendo realizzare l'intera opera con materiali a bassa trasmittanza termica, certificati a norma CE ed aventi caratteristiche compatibili con le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC-2018), ivi comprese le fondazioni incassate nel terreno per le quali sono stati richiesti materiali con λ termico $\lambda \leq$

0,05 (w/mK) e densità non superiore a 650 kg/mc, ha ritenuto di utilizzare fondazioni tecnologiche di ultima generazione come Geosmart, le cui prestazioni e requisiti tecnici oltre ad essere certificati a norma di legge sono risultati del tutto compatibili con le esigenze di progetto e conformi alle norme sull'isolamento termico e la trasmittanza previste dalle UNI EN ISO 10077-1:2018 e, quindi, con la pratica avviata dal committente sig. Rossi Mario per poter accedere all'ottenimento del Superbonus 110% previsto dal Decreto Rilancio 34/2020 e convertito con modificazioni dalla Legge N° 77/2020 e di altri bonus fiscali.

Preso atto dell'idoneità del prodotto Geosmart per un impiego basilare nella costruzione dell'opera commissionata, l'impresa Slim-Costruction dal canto suo ha chiesto al progettista ing. Mario Rossi di individuare quali plinti Geosmart sarebbero risultati idonei al caso di specie e di quantificarne il costo di fornitura.

Avvalendosi delle tabelle tecniche fornite dalla casa madre, l'ing. Giuseppe Verdi ha facilmente individuato i modelli da utilizzare per assorbire e dissipare correttamente i carichi determinati.

In particolare ha raggruppato gli scarichi ai nodi in due categorie di tonnellaggio:

- quella per i carichi geotecnici inferiori a kg 5.400 dissipabili in sicurezza con il mod. GSM-1;
- quella per carichi geotecnici compresi fra kg 5400 e kg 15.000 dissipabili in sicurezza con il mod. GSM-3.

Così facendo l'ing. Verdi ha potuto individuare gli elementi da contabilizzare e determinare orientativamente il relativo costo d'acquisto.

Nella fattispecie sono risultati necessari 18 plinti mod. GSM-1 e 8 plinti mod. GSM-3, completi di palotirante metallico a vite Geopal atto a vincolare l'elemento fondazionale al suolo in caso di sisma o fenomeni naturali eccezionali, impedendo eventuali traslazioni orizzontali e/o verticali.

Applicando la formula $C = K + (A \times B)$ precedentemente illustrata, sono state ottenute le seguenti quotazioni: costo Geosmart GSM-1 € 472,00 per un totale di € 8.496,00 (iva esclusa); costo Geosmart GSM-3 € 1.078,00 per un totale di € 8.624,00 (iva esclusa).

L'importo complessivo della fornitura ammonta pertanto ad € 17.120,00 (iva esclusa). Somma alla quale va aggiunto il costo della posa in opera che, nel caso in esame, è stato quantificato in circa € 2.300,00 (iva esclusa).

L'importo complessivo per la fornitura e posa in opera di 26 Geosmart è pertanto risultato essere di € 19.420,00 (iva esclusa).

Considerando che il fabbricato da realizzare interessa una superficie coperta di circa 240 mq al netto di marciapiedi, tettoie e parti accessorie, l'incidenza del costo al mq di superficie coperta risulta essere di €/mq 80,91. Costo ritenuto decisamente vantaggioso dal costruttore

e dalla committente rispetto a quanto sarebbero venute a costare le consuete fondazioni a plinto o a platea in cemento armato che, oltre a richiedere tempi di realizzazione molto più lunghi, avrebbero comportato un eccessivo aumento dei costi di isolamento termico fondazionale, superando abbondantemente il budget disponibile per questa parte dell'opera.

Il tempo impiegato per la posa in opera di 26 Geosmart è stato infatti di soli due (2) giorni lavorativi, compresa la trasferta del personale di servizio.

Tutte le installazioni sono state eseguite a secco, senza smaltimento in discarica di residui di lavorazione.

8 MARCHIO E BREVETTO (DEPOSITATI)

Come è consuetudine dopo un lungo periodo di studio e ricerca su un nuovo prodotto da industrializzare ed immettere sul mercato nazionale, si è ritenuto opportuno dare un nome convenzionale al trovato e brevettarne le peculiarità che lo rendono unico.

Tramite una società di consulenza mandataria sono state infatti depositate presso l'Ufficio Marchi e Brevetti del Ministero dello Sviluppo Economico sia la domanda di registrazione del marchio Geosmart (N° 302021000071426) sia la domanda di brevettazione dell'invenzione prodotta (N° 102021000011183).

Nell'ottica di tutelare per un periodo di tempo sufficientemente lungo ogni diritto di esclusiva sancito dalla legge in merito alla produzione e distribuzione sul territorio nazionale di questo

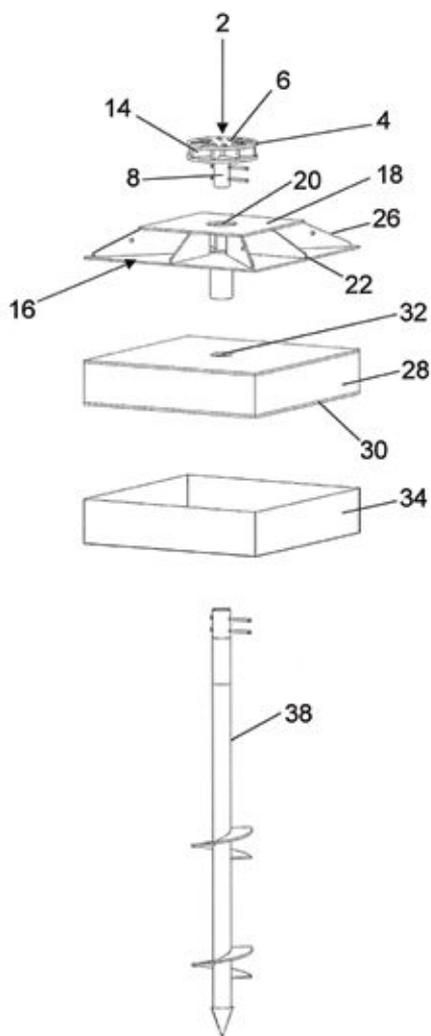


Figura 19. Vista tridimensionale della fondazione mista Geosmart

prodotto decisamente innovativo, a partire dal 2022 sarà data la possibilità a professionisti ed imprese di registrarsi nel sito www.geopalitalia.com come sostenitori di questa ed altre tecnologie ad impatto ambientale zero e di operare come promotori ed utilizzatori certificati dalla casa madre, sottoscrivendo un accordo commerciale.

Figura 20. Geosmart - certificati CE sulla qualità dei materiali e delle lavorazioni dichiarazione di prestazione

The image displays two identical copies of a 'Dichiarazione di Prestazione' (Declaration of Performance) for Geosmart products. Each document features the SGS logo at the top left and the GeopalItalia logo at the top right. The main title is 'Dichiarazione di Prestazione N. 3021/2021'. The product is identified as 'SISTEMI DI FONDEMENTO' (Foundation Systems) and 'SISTEMI DI FISSAGGIO' (Fixing Systems). The manufacturer is 'OFFICINE MECCANICHE TONON S.R.L.' located in Prato, Italy. The documents specify compliance with EN 1090-2 and EN 1000-2 standards. A CE mark is prominently displayed on each document. The text includes technical details, manufacturer information, and a date of issue of 29 October 2021. The documents are signed by the manufacturer and include a reference to the 'Regolamento (UE) 2010/1804'.

9 VANTAGGI E PUNTI DI FORZA

A questa nuova tipologia di fondazione è stato dato il nome Geosmart per la sue originali peculiarità: peso, dimensioni, resistenza e versatilità nell'impiego la rendono agevole e snella rispetto un prodotto tradizionale eseguito con il calcestruzzo.

Questo prodotto è stato infatti pensato e progettato con lo scopo di risolvere contemporaneamente importanti problematiche come:

- l'assorbimento e la dissipazione di tensioni indotte entro brevi spazi;
- lo smorzamento di vibrazioni dovute ad eventi sismici o a macchinari;
- l'isolamento termico di strutture in elevazione, poggianti al suolo;
- la gelivazione dovuta al freddo e all'acqua presenti nell'ambiente naturale;
- la durabilità nel tempo, compatibile con la vita nominale di un'opera;
- la sua facile movimentazione possibile grazie alla leggerezza dei suoi materiali;
- la rapidità di messa in opera e l'immediato utilizzo dopo la sua installazione;
- l'ecocompatibilità dei materiali impiegati, con l'ambiente naturale;
- la rimovibilità totale del geoplinto ed il suo eventuale riutilizzo in altro sito;
- la completa riciclabilità dei materiali utilizzati, a fine vita.

Si tratta dunque di una fondazione studiata nei minimi particolari per poter essere funzionale e conveniente anche dentro spazi angusti o non facilmente accessibili con normali mezzi d'opera e attrezzature. Molti sono infatti i cantieri e gli ambienti dove l'esecuzione di un plinto tradizionale può risultare difficile se non impraticabile. Pensiamo per esempio alla città di Venezia: attraversare le calli per portare cemento, ferro d'armo e attrezzature da una barca fino all'interno di un fabbricato da restaurare diventa, quasi sempre, un lavoro lungo, difficile ed oneroso.

Utilizzare strutture ultraleggere, resistenti, trasportabili facilmente ed installabili a secco costituisce invece per gli operatori del settore un vantaggio non solo pratico ma anche economico, che merita sicuramente una riflessione ed un approfondimento.

Inoltre mentre le fondazioni miste realizzate in opera con il cemento armato vengono dimensionate in modo abbastanza *sartoriale*, quindi verificate sulla scorta di formule piuttosto approssimative e calcoli spesso non proprio semplici da un punto di vista pratico, e il dosaggio del calcestruzzo indicato dal progettista viene gestito in cantiere da personale non sempre qualificato, le fondazioni prefabbricate, predimensionate e prodotte in serie industriale (laddove il procedimento costruttivo è quello imposto necessariamente dalla standardizzazione degli elementi) offrono maggiore sicurezza e garanzia di qualità se non altro per il sistematico controllo eseguito sui pezzi prodotti, che vengono verificati e collaudati preventivamente

per poter garantire di svolgere efficacemente le diverse funzioni portanti per le quali sono stati progettati e destinati sul mercato.

Nella prefabbricazione infatti la filiera produttiva è gestita e controllata da personale specializzato che al prodotto finale fa seguire certificati e attestazioni come la Scheda tecnica, il Certificato di Prestazione, il Certificato di Qualità, la Garanzia sui materiali utilizzati ed ogni altro documento preposto a documentare il processo produttivo seguito.

10 LA FILIERA

10.1 LA PRODUZIONE

Quello che generalmente non viene descritto né mostrato al consumatore sono l'ambiente e le fasi di lavorazione del prodotto commercializzato. Noi riteniamo invece che ai tecnici, ma anche ad un qualsiasi cittadino, interessi vedere qualche fase lavorativa della filiera produttiva. In fin dei conti si tratta di tecnologia ed esperienza applicata al mondo delle costruzioni.

L'ambiente di lavorazione del sistema fondazionale Geosmart è quello tipico dell'officina meccanica ben attrezzata, dove ogni elemento prodotto viene realizzato secondo precise specifiche tecniche redatte e verificate da personale altamente specializzato, addetto alla progettazione e programmazione del ciclo produttivo.

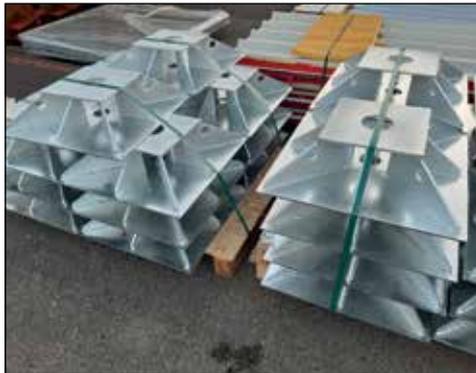
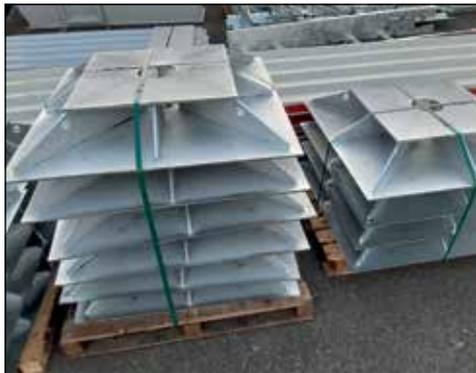
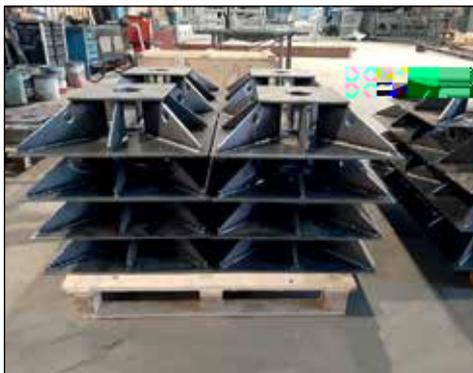
L'approvvigionamento dei materiali viene gestito dall'ufficio acquisti, che ordina ai fornitori le quantità necessarie e ne fissa il prezzo e i termini di consegna. Ritirata la merce da lavorare, il capo commessa, responsabile di attività e tempistiche di lavorazione, verifica con il responsabile di produzione gli aspetti produttivi della filiera e concorda i termini di consegna dei pezzi, preventivamente controllati nella qualità dei materiali e delle lavorazioni.

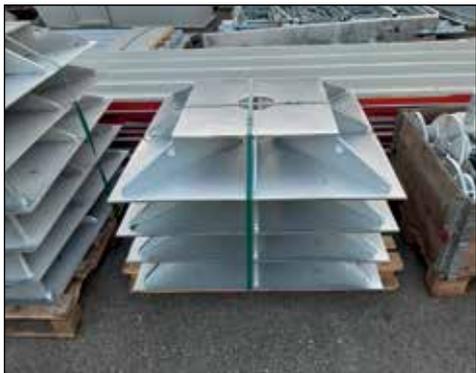
Si procede quindi con il confezionamento delle merci secondo la normativa vigente, così da consentirne la movimentazione e spedizione in sicurezza presso la sede del destinatario.

Le foto che di seguito riportiamo mostrano alcune delle diverse fasi di lavorazione: dall'approntamento della componentistica, all'accatastamento del prodotto finale sul piazzale di carico, per essere poi trasportato a destinazione. I prodotti escono dallo stabilimento solo quando il responsabile di produzione dà il proprio benestare all'ufficio amministrativo che rilascia il documento di trasporto e i certificati di qualità sottoscritti e datati dal responsabile di reparto e consegnati al trasportatore incaricato.











10.2 L'ASSISTENZA TECNICA DELLA CASA MADRE

L'assistenza tecnica che Geopalitalia offre ai clienti comprende la consulenza in fase di scelta del prodotto più idoneo al caso in esame, la fornitura, la posa in opera e il collaudo statico in cantiere delle strutture fondazionali fornite.

Come per ogni altro prodotto impiegato in edilizia, anche per Geosmart è necessario disporre di informazioni e dati tecnici di primaria importanza atti a consentire la scelta della soluzione migliore, rispondente alle esigenze di progetto.

È necessario che l'utilizzatore disponga dei dati geognostici del sottosuolo sul quale vengono proiettate le nuove fondazioni e con essi della planimetria delle loro sagome o, quantomeno, dei punti di scarico delle tensioni da dissipare nel terreno fondale.

Oltre a questi dati il progettista dovrà fornire, con l'entità dei carichi da dissipare (verticali, orizzontali e momenti flettenti inclusi) anche la planimetria dettagliata dell'area d'intervento con almeno due sezioni significative ortogonali fra loro, con indicata in modo chiaro ed inequivocabile la quota d'imposta dei manufatti.

Diversamente, si consiglia di rivolgersi ad un tecnico qualificato sull'argomento, in grado di gestire le diverse attività richieste, assumendosi le responsabilità del caso.

11 UNA RIFLESSIONE E QUALCHE CONSIGLIO

Quando leggiamo per la prima volta l'illustrazione di un nuovo prodotto e la tecnologia che lo rappresenta, non tutto può risultare chiaro e comprensibile fin dal primo momento.

L'argomento fondazioni, in generale, è da sempre il campo minato dei tecnici delle costruzioni che tanto sanno sulle opere fuori terra quanto non sanno su quelle interrato, dove un passo falso potrebbe costare caro.

Nelle scuole e nelle università italiane non è consuetudine approfondire adeguatamente gli argomenti che riguardano le Scienze della Terra e, pertanto, è diffusa nei cittadini più una sub-cultura romantica che una cultura scientifica del mondo sotterraneo e delle sue risorse e grandi potenzialità (anche se con la pandemia molti cittadini, soprattutto i più sensibili all'ambiente naturale, hanno iniziato a documentarsi sull'uso spesso indiscriminato di materiali importanti come la sabbia e la ghiaia dei fiumi, dei laghi o delle spiagge, che vengono asportati in grandi quantità per costruire nuove grandi opere di cemento e asfalto).

La scarsa informazione scientifico-tecnica che i programmi didattici hanno sempre offerto e continuano ad offrire con parsimonia sul mondo sotterraneo, fin dall'età scolare, continua a produrre in molti fantasiose ipotesi su come affrontare anche i più banali problemi connessi con le opere sotterranee.

È così che alcuni costruttori, consci dei propri limiti e delle lacune culturali di cui sono spesso affetti, per paura di sbagliare o di dover spendere troppo tempo per documentarsi su argomenti considerati poco gratificanti per la loro scarsa visibilità, scelgono l'infelice scorciatoia del sovradimensionamento, optando per strutture fondazionali spesso sovrabbondanti, voluminose, pesanti, laboriose e più costose di altre tipologie, magari prefabbricate, prodotte con materiali di altra natura, più idonei a soddisfare le effettive necessità.

Con Geosmart si è voluto dimostrare come una piccola fondazione a plinto realizzata con materiali sintetici di nuova generazione, diversi dal solito calcestruzzo, possa competere sul piano tecnico e su quello economico con strutture analoghe per funzione e capacità portante ma assai diverse per volume, peso, densità, durabilità ed impatto ambientale.

Aspetto non ultimo da considerare è il costo economico della manodopera che, di questi tempi, incide parecchio nella costruzione di fondazioni fatte in opera, se non altro per tutte le lavorazioni e interruzioni che si alternano durante le varie fasi lavorative.

Recentemente alcuni costruttori e progettisti realizzano interi fabbricati utilizzando solo cemento armato dal telaio ai tamponamenti, per poi coibentarlo ovunque con pannelli di isolante termico: è chiaro che, se da un lato viene costruita una casa bunker, dall'altro la struttura di quel nuovo fabbricato manterrà ovunque un alto gradiente termico verticale che aumenterà la trasmittanza dalla parte interrata verso quella emergente, generando inevita-

bilmente dell'umidità strutturale sull'intero fabbricato, in quanto il lambda termico del cemento armato, ricordiamolo, è pari a 2,3 W/mk.

In definitiva, è come se mettessimo uno sciatore a piedi scalzi nella neve: per quanto sia coperto il resto del corpo, se non isola anche i piedi dal freddo, in poco tempo congelerà.

Noi riteniamo invece che una buona fondazione debba essere realizzata in modo da ridurre il più possibile anche la dispersione termica nel sottosuolo, assicurando ugualmente elevati requisiti di resistenza, capacità portante, impermeabilità, anti-gelività e dissipazione delle vibrazioni, al passo con i tempi e con le norme vigenti.

Requisiti che dovranno essere verificati e certificati da organi ufficiali preposti al controllo dei materiali impiegati, così da poter garantire la massima sicurezza ed efficienza all'opera, per tutta la sua vita nominale.

A questo punto i consigli da dare sarebbero parecchi e quasi certamente susciterebbero non poche polemiche e contrarietà per i tanti interessi economici in gioco.

Giusto per non disperdere le precedenti osservazioni sul livello di conoscenza e professionalità richiesto dall'argomento, ci limiteremo a fornire alcuni semplici suggerimenti che spesso dispensiamo anche ai nostri clienti.

1. Per qualsiasi tipo di costruzione, grande o piccola che sia, si consiglia di eseguire almeno tre test geognostici esplorativi disposti a triangolo, in modo da documentare con sufficiente attendibilità la natura geologica e consistenza dei terreni sottostanti l'area da edificare. Il relativo costo, peraltro modesto, compenserà sempre le eventuali lacune sul punto.
2. Se ritenete di non riuscire a coniugare la soluzione fondazionale più adatta al vostro progetto, sotto il profilo tecnico ed economico, non esitate a rivolgervi a chi ne sa più di voi: il costo di un tecnico esperto in materia risulterà sicuramente meno oneroso di una fondazione sovradimensionata o, peggio, che non regge sufficientemente il carico.
3. Va ricordato che il valore di una fondazione non è dato solamente dal costo economico ma, soprattutto, dalla sua reale capacità portante in rapporto al tipo di terreno con il quale va a interagire. In quanto opera strutturale sotterranea, una fondazione deve assicurare efficienza e sicurezza nel tempo. La sua funzione è sinonimo di responsabilità!
4. Stante l'importanza dell'isolamento termico nelle fondazioni di un fabbricato, non esitate a coibentare anche le parti fondazionali a contatto con il terreno che, si sa, tendono a sottrarre calore alle parti murarie superiori per effetto della conduttività termica che genera una trasmittanza significativa su tutte le parti realizzate in calcestruzzo armato. ($\lambda=2,3$ W/mk).
5. Per quanto concerne l'aspetto sismico, va ricordato che la capacità dissipativa dell'energia cinetica che investe una fondazione dipende essenzialmente dal tipo di materiale con cui è fatta (ovvero dalla relativa densità, porosità, massa, conduttività ecc.) e dai

materiali che costituiscono il sottosuolo e l'ambiente circostante con cui interagisce. Se il materiale con il quale è fatta risulta essere particolarmente rigido, pesante, fragile, quindi lapideo come il calcestruzzo, sarà assolutamente necessario inserire un dispositivo isolante antivibrazione in grado di ridurre fortemente il trasferimento di energia cinetica dal sottosuolo. Vien da sé che il costo finale di una fondazione *protetta* da un isolatore sismico aumenterà, e non di poco!

Geosmart, grazie alle sue peculiarità precedentemente illustrate, può essere considerata, a tutti gli effetti, una **fondazione ideale capace di assolvere a tutte le funzioni previste dall'ingegneria delle costruzioni**, essendo provvista di tutti quei requisiti necessari per soddisfare quanto è previsto dalla normativa vigente.

BIBLIOGRAFIA

- Associazione Geotecnica Italiana (AGI), *Raccomandazioni sui pali di fondazione*, 1984, Roma.
- Associazione Geotecnica Italiana (AGI), *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*, 1977, Roma.
- CARBONELLA R., RISPOLI F., FRANCESCHINI M., *Fondazioni superficiali* (quaderno di approfondimento alle Linee Guida NTC 08-Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi), 2012.
- CERONI EUGENIO, *Micropali, Pali di fondazione, Sottopassi e tunnel, Plinti bassi Quadrati*, Dario Flaccovio Editore, 2002.
- CESTARI FERRUCCIO, *Indagini geognostiche in sito*, Dario Flaccovio Editore, 2013, Palermo.
- CESTELLI GUIDI CARLO, *Geotecnica e tecnica delle Fondazioni*, vol. 1 e 2, Ulrico Hoepli editore S.p.A., 1981, Milano.
- COLOMBO PIETRO, COLLESELLI FRANCESCO, *Elementi di geotecnica*, Zanichelli Editore S.p.A., 1996, Bologna.
- COMO MARIO, LANNI GIORGIO, *Elementi di costruzioni antisismiche*, Edizioni Scientifiche A. Cremonese, 1979, Roma.
- DOWRICK DAVID J., *Progettazione antisismica*, Ulrico Hoepli Editore, 1981, Milano.
- FACCIORUSSO J., MADIÀI C., VANNUCCHI G., *Dispense di geotecnica*, Università degli Studi di Firenze, 2009, Firenze.
- FOTI DORA, MONGELLI MICHELE, *Isolatori sismici per edifici esistenti e di nuova costruzione*, Dario Flaccovio Editore, 2011, Palermo.
- FRANCESCHINI M., Corso breve *Le fondazioni superficiali con le NT2008 - teoria ed esempi pratici di progettazione*, Ordine dei geologi della Regione Veneto, 2009.
- GRAFILL, *Istruzioni per le applicazione delle norme tecniche*, Circolare Ministeriale 2 Febbraio 2009, n. 617, 2009.
- GULLI ROBERTO, LACAGNINA GERARDO, *Guida alla relazione geologica*, Dario Flaccovio Editore, 2000, Palermo.
- LANCELOTTA RENATO, *Geotecnica*, seconda edizione, Zanichelli Editore S.p.A., 1993, Bologna.
- LANCELOTTA RENATO, *Geotecnica*, terza edizione, Zanichelli Editore S.p.A., 2004, Bologna.
- MANDOLINI A., *Fondazioni su pali: dalla ricerca alle applicazioni*, Convegno Nazionale Ricercatori di Ingegneria Geotecnica (CNRIG), 2006, Bari.
- MANDOLINI A., *Le fondazioni miste, aspetti teorici e applicativi*, seminario Ordine degli Ingegneri della provincia di Ferrara, giugno 2016.
- MARINO NUZIANTE, *Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile - aggiornato agli Eurocodici 7 e 8*, Maggioli Editore, 2006.
- MINISTERO DEI LL.PP. - DM 14/01/2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche (NTC 2008)*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 29.
- MONACO S. G., *Liquefazione dei terreni in condizioni sismiche*, EPC LIBRI, 2014.
- PERKO HOWARD A. E DONER R.A., *Full-Displacement, Augered Friction Piles and a Method for Estimating Capacity*,

Proceedings of the 34th Annual Conference of the Deep Foundation Institute, Kansas City, MO.
PERKO HOWARD A. E RUPIPER S., *Helical Pile Engineering Handbook, Manufacturer technical Literature*, Larkspur, CO, Precision Pier USA, 2002.

PERKO HOWARD A., *Helical Piles - A Practical Guide to Design and Installation*, Wiley, 2009.

RAO S.N. E PRASAD Y.V.S.N., *Estimation of Uplift Capacity of Helical Anchors in Clays*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119, No. 2, pp. 352-357, 1993.

RAO S.N., PRASAD Y.V.S.N. E PRASAD C.V., *Experimental Studies on Model Screw Pile Anchors*, Proceedings of the Indian Geotechnical Conference, Vol. 1, Bombay, pp. 465-468, 1990.

RAO S.N., PRASAD Y.V.S.N. E SHETTY M.D., *Behavior of Model Screw Piles in Cohesive Soils*, Soils and Foundations, Vol. 31, No. 2, pp. 35-50, 1991.

RUGARLI PAOLO, *Norme tecniche per le costruzioni 2018*, EPC EDITORE, 2018.

SAILER D. E SOTH B., *Helical Pier Foundations for Problem Sites*, Journal of Light Construction, May 2004.

SANSONI RENATO, *Pali e fondazioni su pali*, Ulrico Hoepli Editore S.p.A., 1988.

TANZINI MAURIZIO, *Fondazioni: Caratterizzazione geotecnica Verifiche geotecniche Dimensionamento*, Dario Flaccovio Editore, 2006.

TAPPENDEN K.M., *Predicting the Axial Capacity of Screw Piles Installed in Western Canadian Soils*, Master's Thesis, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 2004.

TERZAGHI K., PECK R. B., *Geotecnica*, UTET, 1984, Torino.

TROPEANO GIUSEPPE, *Corso di Integrato di Sismica Applicata e Geotecnica - Modulo di Geotecnica*, Università della Calabria, Arcavacata di Rende.

UNIVAC WELLPOINT, *Drenaggio dei terreni*, 1976, Mestre.

VIGGIANI C., *Fondazioni*, Ed. CUEM, 1999, Napoli.

VIGGIANI C., *Fondazioni*, Hevelius Edizioni, 2014.

VIGGIANI C., *Pali come riduttori di cedimenti: un esempio*, Atti XIX Conv. Geot., vol. II, pp. 523-528, 1995, Pavia.

VIGGIANI C., *Significato e limiti delle teorie e dei procedimenti di calcolo per la progettazione dei pali di fondazione*, Studi e rend., Corso di Perf. Costr. in c.a., Politecnico di Milano, 1973.

VIGGIANI C., LANCELOTTA R., FLORA A., *Appunti di ingegneria delle fondazioni*, Hevelius Edizioni, aprile 2012.

VIGGIANI C., MANDOLINI A., RUSSO G., *Piles and Pile Foundations*, 2014, Londra.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato. Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso dell'art.68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n.633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Se utilizziamo una scarpa con il plantare morbido e gommoso anziché con il plantare rigido di cuoio, riscontriamo che la comprimibilità della suola sarà sicuramente maggiore.

Non solo: se camminiamo sopra una tavola vibrante, avvertiremo di più le vibrazioni trasmesse nelle soles rigide che in quelle gommose: le seconde, infatti, sono anche un buon ammortizzatore di carico e, quindi, un valido dissipatore di energia. La parte molle della scarpa ha infatti una sua resistenza strutturale che dipende sostanzialmente dalla sua natura e composizione e non è detto che la sua deformazione, per effetto della compressione, comprometta la stabilità del corpo che la comprime; anzi spesso la aumenta.

Il sistema fondazionale prefabbricato Geosmart è progettato proprio con materiali capaci di dissipare il carico di strutture incumbenti che con il loro peso esercitano una sensibile pressione sulla base d'appoggio, assumendo nel contempo anche il ruolo di ammortizzatori.

Per i suoi particolari requisiti tecnici, Geosmart rappresenta dunque la soluzione delle tante esigenze, spesso non facili da soddisfare, che progettisti e costruttori devono affrontare nel realizzare un'opera.