

**MANUALE TECNICO - EDIZIONE 2023**

# Linee guida per il consolidamento, il rinforzo strutturale e la sicurezza sismica con nuove tecnologie green.

Prescrizioni, capitolati e tavole esecutive

**kerakoll**



# Manuale del consolidamento

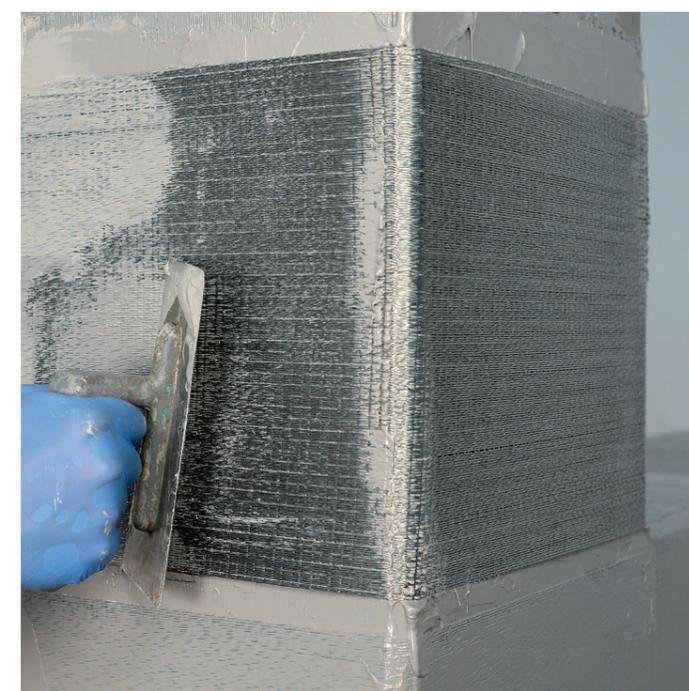
In Italia e nel resto del mondo, si contano ogni anno numerosi eventi sismici che colpiscono il patrimonio edilizio, in tutte le sue forme: dall'edilizia storica in muratura di varia natura fino alle più recenti strutture in c.a. Questi episodi hanno evidenziato problematiche legate alla presenza di murature disomogenee e in pessime condizioni di conservazione, elementi con bassissima resistenza meccanica, o elementi in c.a. realizzati con calcestruzzi scadenti o in evidente stato di degrado.

È proprio dallo studio attento della meccanica dei sistemi di rinforzo e dell'interazione con i vari materiali da costruzione che i nostri ricercatori hanno progettato moderni sistemi di rinforzo, composti da innovative matrici minerali abbinate a nuovi tessuti unidirezionali in fibra d'acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, reti in fibra naturale di basalto e acciaio Inox, fibre corte in acciaio ad alta resistenza e barre elicoidali in acciaio Inox.

Il primato della nostra metodologia di ricerca, unito alle eccellenze dei principali istituti di ricerca nazionali italiani ed esteri con cui collaboriamo, si fonda sullo sviluppo di sistemi di rinforzo, in grado di modularsi perfettamente alle resistenze e rigidità delle diverse tipologie di supporti.

Gli abbinamenti delle matrici Kerakoll con i tessuti in fibra d'acciaio e in fibra di basalto costituiscono gli innovativi sistemi di rinforzo strutturale a basso spessore, che offrono molteplici vantaggi quali: semplicità applicativa e performance di resistenza, modulo elastico e tenacità superiori a quelle dei più comuni sistemi compositi.

Questo Manuale Tecnico è un'utile guida pratica per i Progettisti e la Direzione Lavori, per pianificare e dirigere il cantiere in modo più semplice ed efficace.



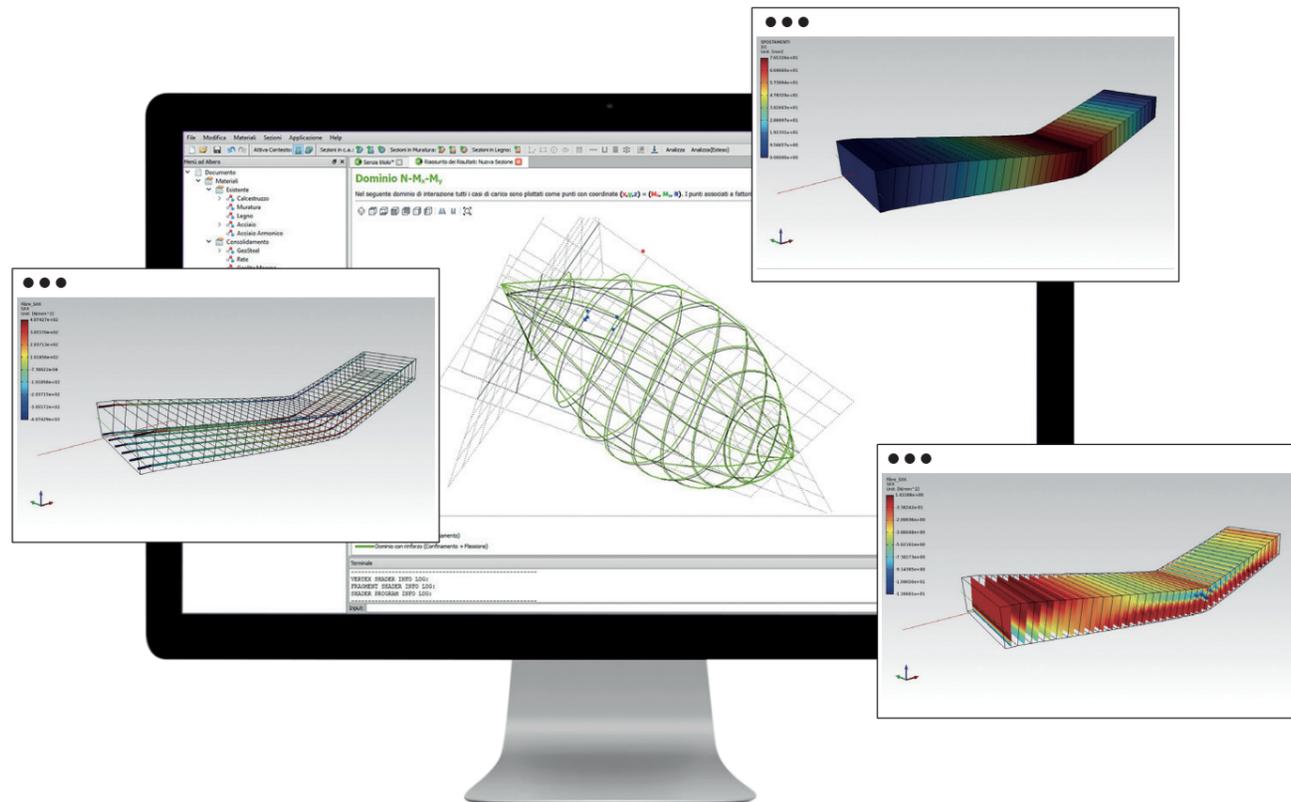
Kerakoll è socio sostenitore di





## GEORFORCE ONE, IL SOFTWARE PER PROGETTARE CON NUOVE TECNOLOGIE GREEN IL CONSOLIDAMENTO E IL RINFORZO STRUTTURALE

Geoforce one  
Software



ENGINEERED BY

# ASDEA

ASDEA è una società di ingegneria costituita da professionisti che nel corso di decenni hanno maturato significative esperienze di ricerca in campo internazionale.

La società è nata con l'obiettivo di offrire soluzioni innovative e altamente tecnologiche nel campo dell'ingegneria strutturale e opera attivamente in diversi paesi, contando più di 300 professionisti, fornendo in tutto il mondo servizi di ingegneria e architettura altamente specializzati.

L'innovativo software Geoforce One, sviluppato e concepito da Asdea per Kerakoll, permette di progettare e verificare sezioni di forma standard o generica in c.a., c.a.p., legno e muratura. Con soli tre semplici passaggi è possibile progettare e verificare il sistema di rinforzo nell'elemento strutturale.

Geoforce One permette inoltre la modellazione e l'analisi di elementi strutturali quali travi/pilastri in c.a., setti, architravi, fasce di piano, archi e volte in muratura e nodi trave-pilastro.

### 1. DEFINIZIONE DELLA SEZIONE

- Generazione della geometria di sezioni di forme ricorrenti (rettangolare o circolare) tramite appositi editors
- Generazione della geometria di sezioni di forme complesse attraverso un ambiente CAD integrato
- Definizione di barre di armatura longitudinale e trasversale
- Definizione di rinforzi a flessione, taglio, confinamento e torsione
- Definizione di ringrossi di sezione
- Definizione di più casi di carico

### 2. ANALISI DELLA SEZIONE

- Verifiche a presso/tenso-flessione:
  - verifica dello stato iniziale dovuto a carichi presenti all'atto dell'applicazione del rinforzo
  - verifica allo SLE
  - verifica allo SLU
- Verifiche a confinamento, taglio e torsione: per sezioni in c.a. il legame costitutivo del cls tiene conto dell'effetto del confinamento
- Verifica per più casi di carico

### 3. VISUALIZZAZIONE ED ESPORTAZIONE DEI RISULTATI

- Generazione, visualizzazione ed esportazione di report dettagliati
- Riepilogo dei materiali utilizzati
- Risultati delle verifiche allo stato iniziale, SLE
- Risultati delle verifiche allo SLU pre e post intervento con sistemi di rinforzo Kerakoll
- Visualizzazione di domini di interazione 2D e 3D
- Visualizzazione del grafico momento-curvatura

### DEFINIZIONE DELL'ELEMENTO STRUTTURALE

- Generazione di elementi strutturali con editor ad hoc
- Elementi costruiti a partire da un numero variabile di sezioni, e loro locazione lungo l'asse dell'elemento
- Possibilità di inserire ringrossi (con o senza rinforzo) ad archi e volte

### ANALISI FEM STATICA NON LINEARE

- Definizione di carichi e condizioni al contorno
- Lancio dell'analisi statica non lineare a due step:
  - stato iniziale prima dell'applicazione del rinforzo in controllo di forze
  - stato finale con elemento rinforzato in controllo di spostamenti
- Modello di trave con integrazione della risposta sezionale tramite modello a fibre
- Legami costitutivi non lineari basati sulla teoria della plasticità e del danno continuo

### VISUALIZZAZIONE DEI RISULTATI

- Visualizzazione grafica dei risultati per ogni step dell'analisi non lineare
- Visualizzazione dei Contour Plots per risultati nodali e di elemento
- Visualizzazione dei Contour Plots per risultati sezionali:
  - stato deformativo e tensionale in ogni punto della sezione a fibre
  - stato dei materiali
  - fattori di sfruttamento
- Grafico della curva forza-spostamento



# Indice generale

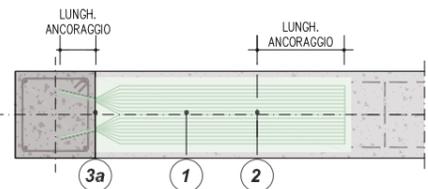
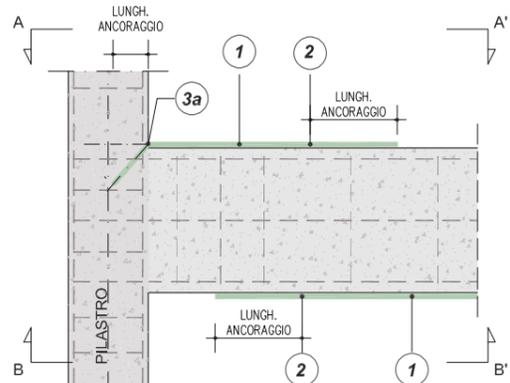
<b>SOLUZIONI PER IL CONSOLIDAMENTO DELLE STRUTTURE IN C.A., C.A.P. E PREFABBRICATE</b>	9
• RICOSTRUZIONE, RIPARAZIONE E RINGROSSO	10
• PILASTRI E NODI	18
• TRAVI E SOLAI	32
<b>SOLUZIONI PER IL CONSOLIDAMENTO, IL RINFORZO E LA RIPARAZIONE DI PARETI DI TAMPONAMENTO IN STRUTTURE INTELAIATE IN C.A.</b>	53
• RIPARAZIONE, RIPRISTINO LESIONI LOCALI	54
• RINFORZO E MIGLIORAMENTO DIFFUSO	58
<b>SOLUZIONI PER IL CONSOLIDAMENTO DELLE STRUTTURE IN MURATURA PORTANTE DI LATERIZIO, TUFO E PIETRA NATURALE</b>	68
• MURATURA E PILASTRI	70
• ARCHI	106
• VOLTE	114
• CUPOLE	138
<b>APPENDICI</b>	147



# APPENDICE A

TIPOLOGIE DI ANCORAGGIO DEI SISTEMI DI RINFORZO

- 1 SEZIONE INTERMEDIA (MEZZERIA) PER LO SVILUPPO DELLA FASCIA
- 2 SEZIONE DI ESTREMITÀ CON LUNGHEZZA DI ANCORAGGIO
- 3a SISTEMA DI ANCORAGGIO D'ESTREMITÀ IN CONTINUITÀ SU FORO CIECO



PIANTA A - A'  
RINFORZO A FLESSIONE DELLA TRAVE MEDIANTE  
PLACCAGGIO ESTRADOSSALE



PIANTA B - B'  
RINFORZO A FLESSIONE DELLA TRAVE MEDIANTE  
PLACCAGGIO INTRADOSSALE

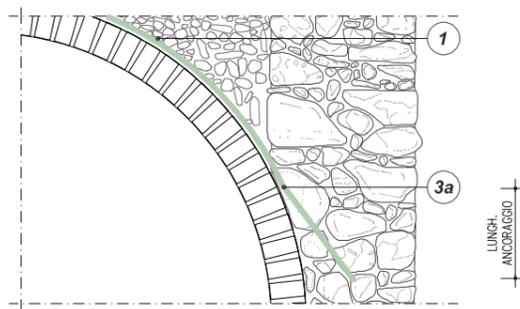
Per la verifica della sezione 1 e della sezione 3a si considera nel calcolo una tensione di progetto corrispondente alla rottura per delaminazione di secondo modo per i sistemi SRP (CNR - DT 200 R1/2013 §4.1.4) e corrispondente alla rottura per distacco/scorrimento intermedio per i sistemi SRG/FRCM (CNR - DT 215/2018 §3.1)

Per la verifica della sezione 2 si considera nel calcolo una tensione di progetto corrispondente alla rottura per delaminazione di primo modo per i sistemi SRP (CNR - DT 200 R1/2013 §4.1.3) e corrispondente alla rottura di estremità per i sistemi SRG/FRCM (CNR - DT 215/2018 §3.1)

- 4 SISTEMA DI ANCORAGGIO MECCANICO

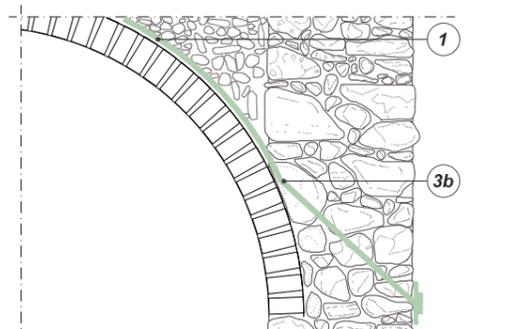
Per l'ancoraggio d'estremità, in alternativa alle soluzioni in continuità o con lunghezza di ancoraggio, è possibile utilizzare un ancoraggio meccanico. Quest'ultimo prevede la predisposizione di un sistema di blocco per la fascia di rinforzo, solitamente costituito da piatti in acciaio collegati con connettori, opportunamente calcolati dal progettista, capaci di impedire la rottura del rinforzo per distacco dal supporto e garantendo così per la fibra il raggiungimento della sua tensione di rottura a trazione. (CNR - DT 200 R1/2013 §5.3.5)

- 3a SISTEMA DI ANCORAGGIO D'ESTREMITÀ IN CONTINUITÀ SU FORO CIECO



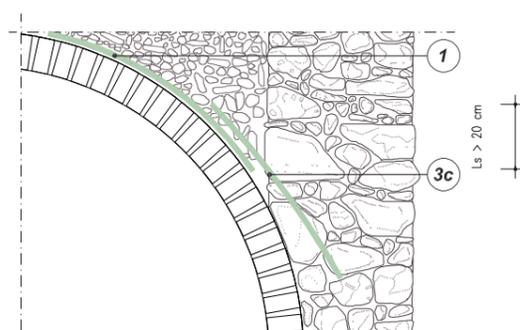
SEZIONE C-C'  
ANCORAGGIO CIECO PER I SISTEMI DI RINFORZO  
CON FASCE DI GEOSTEEL

- 3b SISTEMA DI ANCORAGGIO D'ESTREMITÀ IN CONTINUITÀ SU FORO PASSANTE



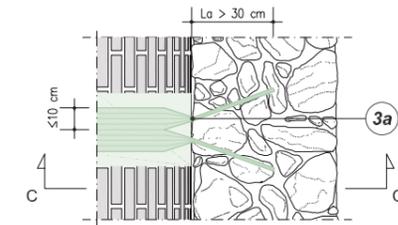
SEZIONE C-C'  
ANCORAGGIO PASSANTE PER I SISTEMI DI RINFORZO  
CON FASCE DI GEOSTEEL

- 3c SISTEMA DI ANCORAGGIO D'ESTREMITÀ IN CONTINUITÀ MEDIANTE DIATONO

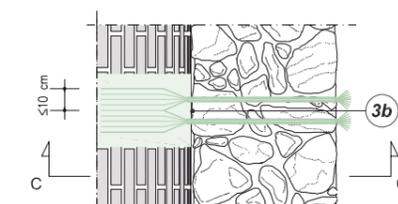


SEZIONE C-C'  
ANCORAGGIO CON DIATONI PER I SISTEMI DI RINFORZO  
CON RETE DIFFUSA GEOSTEEL GRID 200/400  
O RINFORZO ARV 100

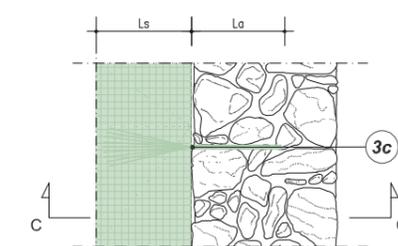
Per i sistemi SRG/FRCM, per la verifica della sezione 3a, 3b e 3c si considera nel calcolo una tensione di progetto corrispondente alla rottura per distacco/scorrimento intermedio (CNR - DT 215/2018 §3.1)



PIANTA  
ANCORAGGIO CIECO PER I SISTEMI DI RINFORZO  
CON FASCE DI GEOSTEEL



PIANTA  
ANCORAGGIO PASSANTE PER I SISTEMI DI RINFORZO  
CON FASCE DI GEOSTEEL



Per maggiori informazioni sull'applicazione dei diatoni consultare l'APPENDICE B.

PIANTA  
ANCORAGGIO CON DIATONI PER I SISTEMI DI RINFORZO  
CON RETE DIFFUSA GEOSTEEL GRID 200/400  
O RINFORZO ARV 100

ANCORAGGIO CON GEOFORCE ONE

Mediante il software di calcolo GeoForce One è possibile indicare la posizione della sezione (sezione in mezzera o sezione all'appoggio). Qualora si tratti di una sezione all'appoggio l'utente ha la possibilità di informare il software sul tipo di ancoraggio presente quindi se ha un ancoraggio meccanico, un sistema che garantisca il raggiungimento di  $f_{rd2}$  oppure nulla. Nei primi due casi l'utente seleziona rispettivamente i bottoni "Ancoraggio Meccanico" e in "Continuità". Nel caso l'ancoraggio del rinforzo GeoSteel sia affidato alla sola aderenza tessuto-matrice-supporto, il progettista deve spuntare le voci  $L_{anc}$  e  $L_{ed}$  se la lunghezza di ancoraggio è maggiore uguale a quella ottimale calcolata secondo CNR - DT 200 R1/2013 e efficace secondo CNR - DT 215/2018. Nel caso dei sistemi SRP, qualora il valore della lunghezza di ancoraggio reale sia inferiore quella ottimale, è necessario indicare il valore effettivo dell'ancoraggio garantito

- 3a SISTEMA DI ANCORAGGIO D'ESTREMITÀ IN CONTINUITÀ SU FORO CIECO



- 3b SISTEMA DI ANCORAGGIO D'ESTREMITÀ IN CONTINUITÀ SU FORO PASSANTE



- 3c SISTEMA DI ANCORAGGIO D'ESTREMITÀ IN CONTINUITÀ MEDIANTE DIATONO



Si consiglia di prevedere lunghezze di ancoraggio pari ad almeno 20 cm per i sistemi SRP e 30 cm per i sistemi SRG/FRCM in accordo rispettivamente con i documenti CNR-DT 200 R1/2013 e CNR-DT 215/2018.

POWERED BY

kerakoll ASDEA

ENGINEERED BY

ASDEA

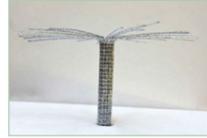


# APPENDICE B

## FASI DI MONTAGGIO DEI DIATONI TRAMITE INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL SU FORO PASSANTE

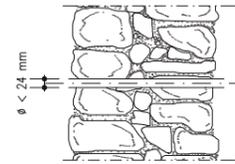
### FASE I: PREPARAZIONE DEL DIATONO

PREPARAZIONE DEL DIATONO ARTIFICIALE A FIOCCO MEDIANTE FIBRA DI ACCIAIO GALVANIZZATO **GEOSTEEL G600/1200**



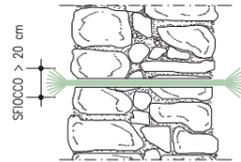
### FASE II: ESECUZIONE DEL FORO

ESECUZIONE DEI FORI SULLA PARETE TRAMITE STRUMENTI A CAROTAGGIO CONTINUO. PULIZIA CON ARIA COMPRESSA PER ASPORTARE POLVERI E DETRITI RESIDUI



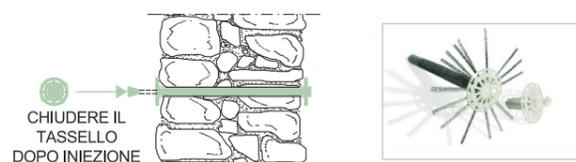
### FASE III: INSERIMENTO DEL DIATONO

INSERIMENTO DEI DIATONI ARTIFICIALI A FIOCCO IN FIBRA DI ACCIAIO GALVANIZZATO **GEOSTEEL G600/G1200**. L'APERTURA DEL FIOCCO È FAVORITA DALL'INSTALLAZIONE DELL'INIETTORE&CONNETTORE **GEOSTEEL**



### FASE IV: INGHISAGGIO DEL DIATONO

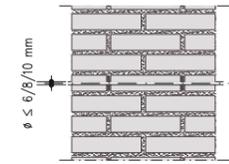
INIEZIONE DI MALTA COLABILE **GEOCALCE® FL ANTISISMICO** PER INGHISARE I DIATONI **GEOSTEEL**. L'INIEZIONE AVVIENE TRAMITE L'APPOSITO FORO DEL TASSELLO DA SIGILLARE CON IL TAPPO IN DOTAZIONE E RASATO CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO**



## INSTALLAZIONE BARRE ELICOIDALI STEEL DRYFIX SU FORO PASSANTE

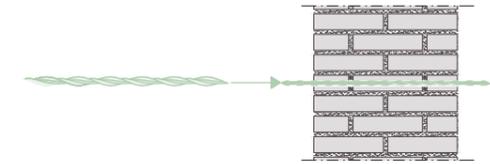
### FASE I: ESECUZIONE DEL FORO

ESECUZIONE DEL FORO PILOTA DI DIAMETRO OPPORTUNO SULLA SUPERFICIE UTILIZZANDO UN TRAPANO ROTANTE A PERCUSSIONE. PULIZIA DEL FORO DA EVENTUALI RESIDUI. NEL CASO DI SUCCESSIVA INSTALLAZIONE DEL **TASSELLO STEEL DRYFIX® 8/10/12**, ALLARGARE I PRIMI 30 mm DI PROFONDITÀ DEL FORO, A UN DIAMETRO DI 14 mm



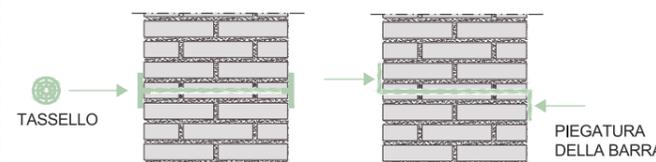
### FASE II: INSERIMENTO **STEEL DRYFIX®**

APPLICAZIONE DELLE BARRE ELICOIDALI **STEEL DRYFIX® 8/10/12** IMPIEGANDO APPOSITO **MANDRINO STEEL DRYFIX® 8/10-12** INSTALLATO SU TASSELLATORE AD INNESTO SDS PLUS; INSTALLAZIONE DELLA BARRA TRAMITE LA SOLA PERCUSSIONE DENTRO AL PREFORO



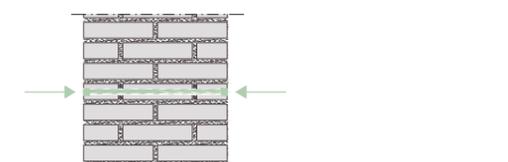
### FASE III A: ANCORAGGIO DELLA BARRA

APPLICAZIONE DELL'APPOSITO TASSELLO **STEEL DRYFIX 8/10** IN TESTA ALLA BARRA. IN ALTERNATIVA, PIEGATURA DELLA PARTE TERMINALE DELLA BARRA ESTERNA AL FILO DEL MURO. **N.B.: UTILIZZABILE IN TUTTI I TIPI DI INTERVENTI.**



### FASE III B: OCCLUSIONE DEL FORO

STUCCATURA FINALE DEL FORO CON **GEOCALCE® G ANTISISMICO**, **GEOCALCE® F ANTISISMICO** O **BIOCALCE® PIETRA**. **N.B.: UTILIZZABILE SOLO PER INTERVENTI DI CUCITURA A SECCO.**



## FASI DI MONTAGGIO DEI DIATONI TRAMITE INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL SU FORO CIECO

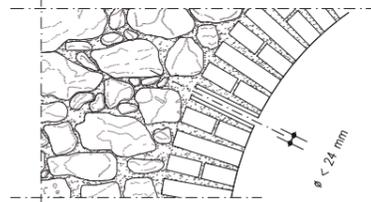
### FASE I: PREPARAZIONE DEL DIATONO

PREPARAZIONE DEL DIATONO ARTIFICIALE A FIOCCO MEDIANTE FIBRA DI ACCIAIO GALVANIZZATO **GEOSTEEL G600/1200**



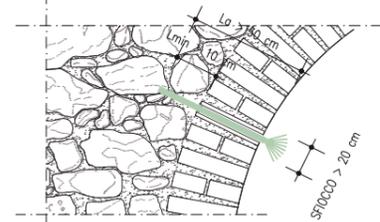
### FASE II: ESECUZIONE DEL FORO

ESECUZIONE DEI FORI SULLA PARETE TRAMITE STRUMENTI A CAROTAGGIO CONTINUO. PULIZIA CON ARIA COMPRESSA PER ASPORTARE POLVERI E DETRITI RESIDUI



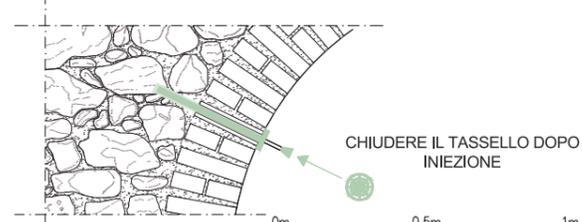
### FASE III: INSERIMENTO DEL DIATONO

INSERIMENTO DEI DIATONI ARTIFICIALI A FIOCCO IN FIBRA DI ACCIAIO GALVANIZZATO **GEOSTEEL G600/G1200**. L'APERTURA DEL FIOCCO È FAVORITA DALL'INSTALLAZIONE DELL'INIETTORE&CONNETTORE **GEOSTEEL**



### FASE IV: INGHISAGGIO DEL DIATONO

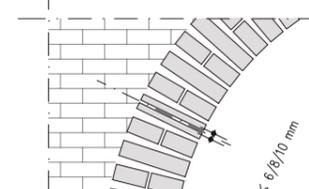
INIEZIONE DI MALTA COLABILE **GEOCALCE® FL ANTISISMICO** PER INGHISARE I DIATONI **GEOSTEEL**. L'INIEZIONE AVVIENE TRAMITE L'APPOSITO FORO DEL TASSELLO DA SIGILLARE CON IL TAPPO IN DOTAZIONE E RASATO CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO**



## INSTALLAZIONE BARRE ELICOIDALI STEEL DRYFIX® SU FORO CIECO

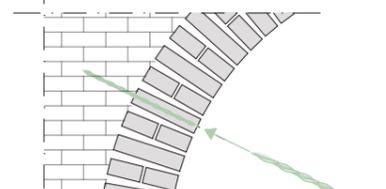
### FASE I: ESECUZIONE DEL FORO

ESECUZIONE DEL FORO PILOTA DI DIAMETRO OPPORTUNO SULLA SUPERFICIE UTILIZZANDO UN TRAPANO ROTANTE A PERCUSSIONE. PULIZIA DEL FORO DA EVENTUALI RESIDUI. NEL CASO DI SUCCESSIVA INSTALLAZIONE DEL **TASSELLO STEEL DRYFIX® 8/10/12**, ALLARGARE I PRIMI 30 mm DI PROFONDITÀ DEL FORO, A UN DIAMETRO DI 14 mm



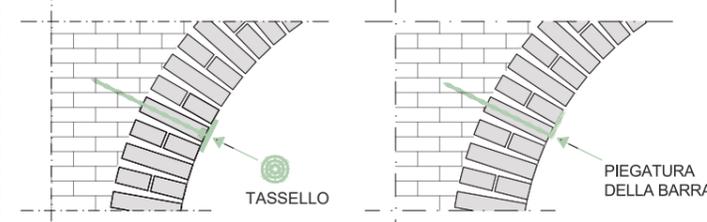
### FASE II: INSERIMENTO **STEEL DRYFIX®**

APPLICAZIONE DELLE BARRE ELICOIDALI **STEEL DRYFIX® 8/10/12** IMPIEGANDO APPOSITO **MANDRINO STEEL DRYFIX® 8/10-12** INSTALLATO SU TASSELLATORE AD INNESTO SDS PLUS; INSTALLAZIONE DELLA BARRA TRAMITE LA SOLA PERCUSSIONE DENTRO AL PREFORO



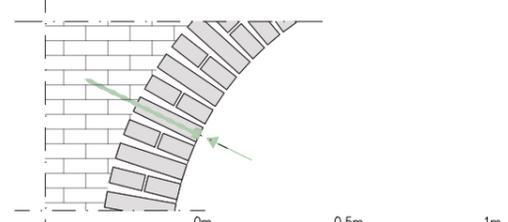
### FASE III A: ANCORAGGIO DELLA BARRA

APPLICAZIONE DELL'APPOSITO TASSELLO **STEEL DRYFIX 8/10** IN TESTA ALLA BARRA. IN ALTERNATIVA, PIEGATURA DELLA PARTE TERMINALE DELLA BARRA ESTERNA AL FILO DEL MURO. **N.B.: UTILIZZABILE IN TUTTI I TIPI DI INTERVENTI.**



### FASE III B: OCCLUSIONE FORO

STUCCATURA FINALE DEL FORO CON **GEOCALCE® G ANTISISMICO**, **GEOCALCE® F ANTISISMICO** O **BIOCALCE® PIETRA**. **N.B.: UTILIZZABILE SOLO PER INTERVENTI DI CUCITURA A SECCO.**





# APPENDICE C

## CONNESSIONE DEI RINFORZI ESTRADOSSALI DI ARCHI E VOLTE CON FASCE DI PIANO

**a** FASCIA DI PIANO IN TESSUTO **GEOSTEEL** ALLETTATA CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO**

**b** ANCORAGGIO DEL RINFORZO DELLA VOLTA IN FASCE DI TESSUTO **GEOSTEEL G600/G1200** INGHISATE CON **GEOCALCE® FL ANTISISMICO**. SE NECESSARIO È POSSIBILE ANCORARE LA FASCIA USANDO L'APPOSITO **INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL** (APPENDICE A)

È possibile prolungare la lunghezza di ancoraggio per tutta la larghezza del muro e collegare il rinforzo della volta con le eventuali fasce di piano. Per le soluzioni di queste ultime con **GEOSTEEL** ed i particolari di ancoraggio consultare TAV 28 e APPENDICE A.

0m 0.5m 1m 2m

## SISTEMA DI RINFORZO DI ARCHI E VOLTE ABBINATO A FRENELLI

**a** REALIZZAZIONE FRENELLI IN LATERIZIO

**b** TESSUTO **GEOSTEEL G600/G1200** DISPOSTO SUPERIORMENTE IN ASSE AI FRENELLI IN LATERIZIO PER CREARE UNA "TRAVE ARMATA AD ARCO"

Per incrementare la resistenza di archi e volte è possibile aggiungere frenelli in laterizio armati con tessuto **GEOSTEEL G600/G1200** disposti in funzione della geometria di archi e volte in asse con le fasce di tessuto **GEOSTEEL**.

0m 0.5m 1m 2m

## CONNESSIONE DEI RINFORZI INTRADOSSALI DI ARCHI E VOLTE CON FASCE DI PIANO

**a** FASCIA DI PIANO IN TESSUTO **GEOSTEEL** ALLETTATA CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO**

**b** ANCORAGGIO DEL RINFORZO DELLA VOLTA IN FASCE DI TESSUTO **GEOSTEEL G600/G1200** INGHISATE CON **GEOCALCE® FL ANTISISMICO**. SE NECESSARIO È POSSIBILE ANCORARE LA FASCIA USANDO L'APPOSITO **INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL** (APPENDICE A)

È possibile prolungare la lunghezza di ancoraggio per tutta la larghezza del muro e collegare il rinforzo della volta con le eventuali fasce di piano. Per le soluzioni di queste ultime con **GEOSTEEL** ed i particolari di ancoraggio consultare TAV 28 e APPENDICE A.

0m 0.5m 1m 2m

## SISTEMA DI RINFORZO ABBINATO A RINGROSSO ESTRADOSSALE ARMATO DI ARCHI E VOLTE

**a** RINGROSSO ARMATO CON FASCE DI TESSUTO **GEOSTEEL G600/G1200** DISPOSTO IN ASSE ALLE FASCE DI RINFORZO

**b** TESSUTO **GEOSTEEL G600/G1200** DISPOSTO PER CREARE SUPERIORMENTE AL RINGROSSO IN LATERIZIO PER CREARE UNA "TRAVE ARMATA AD ARCO"

Per incrementare la resistenza delle volte e degli archi è possibile effettuare ringrossi in laterizio armati con tessuto **GEOSTEEL G600/G1200** disposti, in funzione della geometria di archi e volte, in asse con le fasce di tessuto **GEOSTEEL**.

0m 0.5m 1m 2m

Geoforceone  
Software

**kerakoll**

kerakoll.com